

[illegible]

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

До захисту допущено

Завідувач кафедри

Ю.С. Ямненко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

„_____” _____ 2019р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.050802 Електронні пристрої та системи
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему «Джерело живлення для контактного зварювання»

Виконав: студент 4 курсу, групи ДС-52

Єсепчук Валерій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник

доц., к.т.н., доц. Миколаєць Д.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:

Технічний розділ нач. відд. Алексєєнко А. В.

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент асистент каф. ААЕ, к.т.н. Нижник О.І.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) схема електрична структурна, схема електрична принципова, теоретичне креслення

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний	Алексєєнко А.В., начальник відділу		

7. Дата видачі завдання 7 вересня 2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строки виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд літератури	20.03.2019-08.04.2019	
2	Розробка структурної схеми	08.04.2019-15.04.2019	
3	Розробка силової частини схеми	15.04.2019-23.04.2019	
4	Вибір трансформатора	23.04.2019-07.05.2019	
5	Розробка мікропроцесорної системи керування	07.05.2019-10.05.2019	
6	Розробка програмного забезпечення	10.05.2019-20.05.2019	
7	Виготовлення плат для джерела живлення	20.05.2019-01.06.2019	
8	Випробовування готового пристрою	01.06.2019	

Студент

(підпис)Єсепчук В.Ю._____
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)Миколаєць Д.А._____
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Розроблено і досліджено блок живлення для точкового контактного зварювання змінним струмом. Розглянуті способи керування потужністю та розроблена схема керування змінною напругою. Досліджені деякі режими експлуатації зварювальних апаратів. Змодельовано схему детектування переходу мережевої напруги через нуль. Вибрано і виготовлено зварювальний трансформатор. Досліджений вплив форми зварювальних електродів на форму і якість зварних швів. Досліджений зв'язок між напругою на вторинній обмотці та здатністю зварювати товсті металеві заготовки.

SUMMARY

The power supply unit for AC spot contact welding has been developed and investigated. Methods of power control are considered and the scheme of control of an alternating voltage is developed. Some modes of operation of welding machines are investigated. Simulated diagram of the detection of transition of mains voltage through zero. Selected and manufactured welding transformer. The influence of the shape of welding electrodes on the shape and quality of welds is studied. The relationship between the voltage on the secondary winding and the ability to weld thick metal blanks is investigated.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1.ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ	8
1.1 Основи електричного контактного зварювання	9
1.2 Основні види електричної контактного зварювання та їх застосування ...	11
1.2.1 Стикове зварювання	11
1.2.2 Точкове зварювання	14
1.2.3 Роликове зварювання	17
1.3. Принцип фазного керування.....	20
1.3.1 Фазове регулювання напруги	20
1.3.2 Фазове регулювання моментів вмикання та вимкнення силових ключів, та діюче значення напруги.	21
1.4 Зварювальний трансформатор.....	21
1.4.1 Принцип роботи	21
1.4.2 Завантаження трансформатора	23
1.5 Регулювання потужності	23
2. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ	26
2.1 Вибір зварювального трансформатора.....	27
2.2 Розробка схеми детектора переходу напруги мережі через нуль.....	27
2.3 Розробка друкованої плати системи керування.....	29
2.3.1 Матеріали для виготовлення друкованих плат	29
2.3.2 Трасування друкованої плати	30
2.4 Розробка програмного забезпечення для керування джерелом живлення.	34
2.4.1 Алгоритм керування силовим ключом.....	37
2.4.2 Розробка друкованої плати для мікроконтролера	39
2.5 Вибір компонентів.....	41

					ДС52.521.218.001 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Джерело живлення для контактного зварювання Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Єсепчук В.Ю.						
Перевір.		Миколаєць Д.А.					3	50
Т. Контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, КПЕ, гр. ДС-52		
Н. Контр.		Батрак Л.М.						
Затверд.		Миколаєць Д.А.						

2.5.1 Вибір резисторів	41
2.5.2 Вибір оптопари	41
2.5.3 Вибір транзисторів	42
2.5.4 Вибір оптосимістора	42
2.5.5 Вибір силового симістора	43
3.ВИПРОБУВАННЯ ВИГОТОВЛЕНОЇ УСТАНОВКИ ТОЧКОВОГО КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ	44
3.1 Порівняння вартості розробленого джерела живлення для контактного зварювання з серійними зразками	45
3.2 Зразки серійних джерел живлення для точкового контактного зварювання.	46
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	48
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	50

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Додаток А. Програма для мікроконтролерного пристрою керування

Додаток Б. Кресленик осердя зварювального трансформатора

Додаток В. Зовнішній вигляд зварювального трансформатора

Додаток Г. Зовнішній вигляд установки для точкового зварювання

Додаток Д. Приклади з'єднаних заготовок

Додаток Е. Схема електрична принципова силової частини джерела живлення для контактного зварювання

Додаток Є. Схема електрична принципова джерела живлення для контактного зварювання

Додаток Ж. Перелік компонентів схеми електричної принципової

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Проблема виготовлення нероз'ємних з'єднань з'явилась ще в давні віки. Виготовлення металевих виробів було важливим для нормального функціонування цивілізації.

Першим видом зварювання було зварювання ковкою. Але необхідність ремонту та необхідність виготовлення більш точних виробів потребувало покращення методів з'єднання металевих заготовок.

Перші спроби використовувати електричну енергію для формування з'єднань металевих заготовок були випробувані на початку 19 ст.

В наші часи існує понад 150 видів та способів зварювальних процесів, але основними є зварювання електричною дугою та зварювання контактним методом без формування електричної дуги.

Зварні з'єднання зустрічаються в нашому житті в усіх сферах. Починаючи від зварювання мініатюрних акумуляторних батарей, закінчуючи мостами та несучими конструкціями хмарочосів.

Зварювання займає важливе місце серед технологічних операцій при збиранні різноманітних конструкцій. Через те, що об'єми виробництва металевих конструкцій з кожним роком зростають, необхідно забезпечити промисловість дешевими та економічними джерелами живлення для зварювальних робіт.

На даний момент найбільш розповсюджене дугове та контактне зварювання. В першому випадку нагрів заготовок відбувається за рахунок високотемпературної електричної дуги. В другому – за рахунок безпосереднього контакту заготовок та зварювальних електродів.

Більшість дешевих джерел живлення для контактного зварювання мають невелику потужність та вузький спектр регулювань. Тому отримання якісних зварних з'єднань за допомогою контактного зварювання вимагає устаткування, ціна якого недоступна широкому спектру користувачів.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поява дешевих та багатофункціональних апаратів точкового та дугового зварювання значно б полегшила роботи з ремонту та розробки великої кількості виробів з металу.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ

Електричне контактне зварювання – один з найважливіших процесів зварювання в промисловості. Воно відноситься до видів зварювання з оплавленням заготовок в місці з'єднання.

Характерна особливість цих процесів - пластична деформація, в ході якої формується зварне з'єднання. Ідею контактного зварювання запропонував Еліху Томпсон наприкінці 19ст.

Процес контактного зварювання на протязі багатьох років розглядався вченими та промисловцями для покращення устаткування для цього виду зварювання. На початку своєї еволюції, контактне зварювання використовувалось зазвичай для з'єднання тонких листових матеріалів.

Електричне контактне зварювання стало дуже доречне на початку виготовлення перших моделей автомобілів, через те, що в той час не було потреби виготовляти дуже жорсткі кузовні конструкції. У результаті цей процес швидко знайшов собі застосування в монтажі конструкції автомобільного кузова.

З плином часу контактне зварювання перейшло і в інші галузі промисловості та машинобудування, в такі як виготовлення рухомого складу та інші. Однією з ключових особливостей контактного зварювання є те, що воно не потребує додаткових хімікатів та присадок, що не заважає отриманню високоякісних з'єднань.

Зварювання контактним методом легко автоматизувати, через те, що немає необхідності в певні моменти часу вводити флюс та присадочні матеріали. Ці переваги особливо помітно проявляються в масовому і великосерійному виробництві.

Ефективність контактного зварювання обумовлюється ще й тим, що процес зварювання відбувається досить швидко і без особливих технологічних

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умов, без використання інертних середовищ для унеможливлення вигорання матеріалу та інших несприятливих факторів для вихідного зварного з'єднання .

До недоліків електричної контактної зварювання відноситься велику вагу зварювальних апаратів і потреба їх у великих струмах, що прив'язує даний вид обладнання тільки до стаціонарних умов експлуатації.[1]

1.1 Основи електричного контактної зварювання

Принцип контактної зварювання полягає в пропусканні великого струму через місце стику двох заготовок. Сила зварювального струму може досягати одиниць кілоампер. Для стискання заготовок між електродами можна використовувати автоматизовані системи притиску на основі гідравлічних та пневматичних машин.

Протягом близько секунди листи нагріваються до граничної температури плавлення. Зусилля, що додається до електродів (близько 150 кг), змішує один з одним молекули металу, виконуючи тим самим процес зварювання. Метал не повинен повністю розріджуватися, так як в цьому випадку він буде видавлений при раптовому розширенні, що призведе до утворення низькоконсистентного, пористого або просто полого ядра зварної точки. [2]

Фактично контактне зварювання є просто сучасної аналогією методу, застосовуваного колись ковалями: вони нагрівали два елементи до червоного, а потім кували їх молотом, щоб міцно з'єднати. Сьогодні електрику замінює ковальський горн, а зусилля важільних зварювальних кліщів прийшло на зміну молоту. У базовій основі принципів електричної контактної зварювання лежить тиск, помножене на тепло.

Заготовки в місці з'єднання нагрівають і стискають певним зусиллям. Нагрівання здійснюють теплом, яке виділяється в заготовках і в контактах між ними при проходженні електричного струму. Для отримання якісних зварних деталей метал у місці з'єднання нагрівають до розплавлення і лише в окремих

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

способах (наприклад, при стикового контактного зварювання опором) - до пластичного стану.

Примикаючи до місця з'єднання зони повинні бути нагріті до температури, що забезпечують необхідну пластичну деформацію заготовок. У процесі цієї деформації відбувається видалення окислів з місця з'єднання, усунення раковин і ущільнення металу.

Кількість тепла, що виділяється в зоні зварювання, визначають за формулою Ленца-Джоуля (1.1):

$$Q = 0.24 I^2 R t, \quad (1.1)$$

де Q - кількість тепла; I - сила зварювального струму; R - загальний опір зони зварювання; t - час нагрівання.

Сила зварювального струму має найбільший вплив на нагрів. Наприклад, збільшуючи силу струму вдвічі можна призвести до скорочення часу нагрівання більш ніж в 4 рази.

Характер нагрівання заготовок, який надає значний вплив на якість зварного з'єднання, серйозно залежить також від величини загального опору зони зварювання та співвідношення між його окремими складовими. Загальний опір - це контактний опір між заготовками, опір самих заготовок та опори між електродами й заготовками.

При зварюванні неочищених заготовок відбуваються значні зміни контактних опорів в широких межах. Це призводить до змін температури нагріву заготовок, через що знижується стабільність показників міцності зварюваних з'єднань. Окрім цього, зварювання неочищених заготовок призводить до збільшення зносу електродів, а в зварених з'єднаннях можуть виникати дефекти. [3]

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Основні види електричної контактної зварювання та їх застосування

Найбільш широке застосування отримали наступні основні види контактної зварювання:

- стикове;
- точкове;
- шовне (роликове).

Кожен з цих видів зварювання можна здійснювати різноманітними методами, відмінними за родом використовуваної електроенергії, технологічними ознаками та способом підведення струму до зварюваних заготовок.[4]

1.2.1 Стикове зварювання

Заготовки зварюють по всій площі їх торкання. В залежності від площі перетину заготовок, типу металу та вимог до якості з'єднання стикове зварювання можна виконувати декількома способами.

Стикове зварювання опором. Заготовки, що встановлюються та закріплюються в стиковій машині, притискаються одна до одної зусиллям певної величини, після чого по них пропускають електричний струм. При нагріванні металу в зоні зварювання до пластичного стану здійснюється осад. Струм виключають до закінчення осаду. Даний спосіб зварювання потребує механічної обробки та ретельного зачищення поверхні на торцях заготовки.

Нерівномірність нагрівання та окислення металу на торцях заготовок зменшують якість зварювання опором, що локалізує область її використання. Зі зростанням площі перетину заготовок якість зварювання знижується найбільш помітно, основним чином через створення окислу в стиках.

Стикове зварювання безпосереднім оплавленням має дві основні стадії: оплавлення і осади. Заготовки встановлюються в затискачах машини, потім

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

включають струм і неквапливо наближують їх. При цьому торці заготовок торкаються в одній або декількох точках. У місцях доторкання має місце утворення перемичок, які можуть миттєво випаровуватись та вибухати.

Вибухи супроводжуються специфічним викидом з стику мілких крапель розплавленого металу. При черговому зближенні заготовок освітлення і вибух перемичок відбувається на сторонніх ділянках торців. Як результат, заготівки прогріваються в глибині, а на торцях створюється тонкий шар розплавленого металу, що допомагає полегшити видалення окислів зі стику.

В процесі оплавлення заготовки стають меншими в розмірах на заданий припуск.

Оплавлення має бути стійким (постійне протікання струму при відсутності короткого замикання на заготовках), особливо перед осадом. Швидкість наближення заготовок при осаді різко підвищують, виконуючи при цьому пластичну деформацію на заданий припуск. Перехід від оплавлення до осаду має відбуватися миттєво, без найменшої перерви. Осад розпочинається при ввімкненні струму і завершуються при вимкненні. Стикове зварювання безперервним оплавленням забезпечує рівномірний прогрів заготовки по площі перетину і дозволяє отримувати стабільну якість стиків. Її суттєвою перевагою є також можливість порівняно легко автоматизувати процес.

Різниця між стиковим зварюванням оплавленням з підігрівом відрізняється та зварюванням безперервним оплавленням полягає в тому, що до початку процесу оплавлення заготовки підігріваються у затискачах машини періодичним замкненням і розмиканням при постійно включеному струмі. За цих умов відбувається процес переривчатого оплавлення та заготовки становляться коротшими на заданий припуск.

Витримка при замиканні становить близько 0,5-3,0 секунд, а при розмиканні 2,0-6,0 секунд. Кількість замикань може варіюватися від одного до декількох десятків в залежності від площі перетину заготовок.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування стикового зварювання оплавленням з підігрівом дозволяє попередити різку загартування і, отже, отримати більш пластичні стики при зварюванні гартувати сталі; понизити необхідну потужність машини або на машині даної потужності зварювати заготовки з великими площами перерізу; здійснити осадку при меншому зусиллі; скоротити загальний припуск на зварювання [5].

Для того, щоб отримати якісне стикове з'єднання необхідно рівномірно нагріти заготовки по площі всього перетину та в прилеглих до стику зонах; забезпечити можливість рівномірної пластичної деформації на обох заготовках; запобігти або звести до мінімальної кількості окислення металу на торцях в процесі нагрівання; забезпечити умови для вільного видалення окислів зі стику. Реалізація даних вимог можлива при відповідній підготовці деталей до зварювання та правильно обраних способі і режимі зварювання.

Зварювання опором доцільно здійснювати зварювання на підвищених щільності струму, так як при цьому підвищується якість з'єднання і знижується витрата електроенергії. Величину зусилля опаді P підраховують як добуток питомої тиску на площу заготовок. Силу зварювального струму підраховують як добуток щільності струму на площу перерізу заготовок. Необхідна щільність струму зростає зі зменшенням перерізу заготовок, із зменшенням часу зварювання, з перевищенням теплопровідності і зниженням питомого опору металу.

Установча довжина - величина виступаючих з губок решт деталей на початку зварювання. При заниженій настановної довжині деталі прогриваються недостатньо, так як тепло інтенсивно відводиться в губки. Завищення її супроводжується перегрівом деталей і збільшенням довжини ділянки, що деформується. Крім того, можливі перекося торців внаслідок втрати стійкості.

Якщо осад недостатній, в стику залишаються оксиди і раковини, спостерігаються неспростовані ділянки. При завищенні величини опаді якість стиків також знижується внаслідок викривлення волокон і перегріву металу.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Час нагріву t - час проходження струму через заготовки. При зварюванні на машинах, у яких вимкнення струму здійснюється в певний момент опаді регульованим кінцевим вимикачем, час нагрівання залежить в основному від щільності струму. Крім того, воно залежить від тиску і величини осідання під струмом.

При зварюванні оплавленням припуск на оплавлення $Z_{оп}$ повинен бути таким, щоб здійснити рівномірний і достатній нагрів деталей, вирівняти зазори між торцями і отримати на торцях тонкий шар рідкого металу. Для створення захисного середовища, перешкоджає окисленню металу в зоні зварювання, оплавлення має бути стійким. Припуск на оплавлення зростає із збільшенням діаметру або товщини деталей.

Силу зварювального струму підраховують так само, як і при зварюванні опором.

1.2.2 Точкове зварювання

При точковому зварюванні заготовки з'єднуються зварюванням в окремих місцях, умовно званих точками.

Структура та розміри точки, які встановлюють міцність з'єднання, залежать від розмірів та форми контактної площадки електродів, сили зварювального струму, часу протікання струму через заготовки, зусилля стиснення і стану поверхонь заготовок.

Якісна зварна точка характеризується наявністю спільного для обох заготовок литого ядра певних розмірів.

Операції точкового зварювання виконуються наступній послідовності: заготовки встановлюються та потім щільно стискаються між електродами контактної машини.

Вмикається струм, і заготовки нагріваються за короткий проміжок часу; найбільш швидко нагріваються саме ті ділянки металу, що є прилеглими до

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

контакту між заготовками, оскільки саме ці ділянки володіють підвищеним електричним опором.

У момент утворення в зоні зварювання розплавленого ядра заданих розмірів струм вимикають.

Після вимкнення струму заготовки не довготривало витримують між електродами під дією сили стиснення, через що відбувається охолодження зони зварювання, зменшення усадочної раковини в ядрі зварної точки та кристалізація розплавленого металу.

Силу струму й зусилля стискання заготовок встановлюють постійними або змінюють за певним графіком протягом циклу зварювання однієї точки.

Характер зміни сили струму та зусилля стискання визначається товщиною і матеріалом зварюваних заготовок. За допомогою точкового зварювання можна зварювати листові заготовки довільної товщини, типові стрижні, листові заготовки зі стрижнями чи профільними заготовками (кутами, таврами, швелерами і т.п.).

Точкове зварювання застосовується для з'єднання заготовок зі сталей різних марок (вуглецевої, легованої, нержавіючої, жаростійкої та ін.), а також з кольорових металів і їх сплавів.

За допомогою точкового зварювання можна з'єднувати заготовки з металів, що мають різнорідну природу. Товщина кожної із заготовок, що з'єднуються за допомогою точкового зварювання, може бути від декількох мікрон до 35 мм.

В залежності від кількості точок, що зварюються, методу підведення струму до заготовок та інших факторів застосовуються різноманітні методи точкового зварювання.

Конструкція вузлів для точкового зварювання повинна дозволяти: застосовувати нормальні електроди, інтенсивне охолодження яких підвищує їх стійкість; виконувати зварювання без введення великих ділянок сталевих

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

заготовок у зварювальний контур машини; зварювати точки в необхідній послідовності, що забезпечує найменшу деформацію деталей .

Із збільшенням кількості одночасно зварюються заготовок знижується якість зварного з'єднання. У зв'язку з цим у відповідальних конструкціях рекомендується одночасно зварювати не більше двох заготовок.

Товщини двох заготовок з листового матеріалу не повинні відрізнятися більш ніж в 3 рази. При більшій різниці для отримання якісного з'єднання рекомендується застосовувати конденсаторну або рельєфно-точкове зварювання.

Точки на деталях необхідно розміщувати з урахуванням шунтування струму. Чим менше відстань між точками, а також чим більше товщина і вище електропровідність матеріалу заготовок, тим більша частина загального струму шунтується через раніше зварену точку.

Порядок зварювання: ділянки поблизу ребер жорсткості, кути та інші важко деформуємі місця повинні бути зварені в першу чергу; ділянки великих розмірів повинні зварюватися від середини до кінців; точки повинні зварюватися поспіль, оскільки це перешкоджає утворенню гофр і зменшує шунтування струму. [3]

Для переналаштування зварювальної установки для зварювання інших металів, або заготовок з іншою товщиною, використовують зміну величини зварювального струму, змінюють тривалість імпульсу зварювального струму, може змінюватися форма та розміри зварювальних неплавких електродів електродів.

Величини параметрів зварювальної напруги та струму залежать від необхідної глибини провару, яка залежить від виду зварюваного матеріалу. При зварюванні двох заготовок різної товщини режим в основному визначається більш тонкої заготівлею з деяким збільшенням струму. [5]

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

1.2.3 Роликове зварювання

Роликовим, або шовним зварюванням називають процес утворення міцного та герметичного шва, за допомогою контактного зварювання роликовими електродами, які мають плоску площу контакту з заготовками.

Ролики можуть обертатися і до них підводиться зварювальний струм.

Зварювані заготовки з'єднуються послідовністю точок, але це дозволяє отримати герметичний шов, якщо ці точки будуть накладатися одна на одну.

На відміну від точкового зварювання тут заготовки встановлюють між обертовими роликами (або між оправкою та роликами), на які діє зусилля механізму тиску і до яких підведений електричний струм.

Товщина кожної із заготовок зазвичай не перевищує 2-3 мм. Якщо форма виробу не дозволяє провести зварювання з двостороннім прикладанням роликів, то один з електродів жорстко фіксується на виробі і зварювання проводиться тільки одним роликом з одного боку (приварювання облицювання до каркасів великих розмірів, приварювання покрівлі тощо).

Шовне зварювання знайшло застосування при виробництві порожнистих виробів з листових металів невеликої товщини, до 1-2мм.

Зварювання з формуванням шва відбувається при подібних струмах і умовах зварювання, що й інші типи контактного зварювання. Але воно має дві особливості:

- зварюються деталі закріплюють внахлест;
- електродами служать ролики, зроблені з мідного сплаву.

В цілому роликове зварювання принципово не відрізняється від точкового зварювання. [3]

Типи з'єднань для роликового зварювання вибирають з урахуванням товщини і матеріалу заготовок, а також умов роботи виробу. Для виготовлення труб та інших порожнистих виробів з листового прокату використовується метод зварювання з попереднім формуванням відбортовки.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо використовується такий метод, то це має позитивний ефект. Магнітні матеріали не потрапляють в зону дії магнітних сил, які продукуються протіканням струму через обмотки зварювального трансформатора.

Якщо в поле дії магнітного поля зварювального трансформатора будуть внесені магнітні матеріали, це може призвести до зростання індуктивного опору, що викликає спотворення магнітного потоку в основному осерді зварювального трансформатора і зробить роботу зварювальної установки нестабільною.

Ширина відбортовки для сталевих заготовок товщиною 1-2 мм знаходиться в межах 12-18 мм. Для отримання високоякісних швів при роликовому зварюванні широко застосовується метод зварювання «внахлест». Величину нахлестки беруть 10-18 мм. Інші сполуки застосовують значно рідше, так як вони не забезпечують достатньої міцності.

Довгі шви при роликової зварюванні заготовок з магнітних матеріалів, що вводяться в контур машини, рекомендується розбивати на два або більше ділянки. При розділенні на декілька зварювальних осередків шви зварюють від середини до кінців. При більшій кількості однаково розташовані ділянки виділяють в окремі групи, які потім зварюють на різних щаблях трансформатора.

Такий метод дозволяє збільшити якість зварного з'єднання за рахунок виключення факторів, які впливають на характеристики трансформатора через введення в поле дії магнітних матеріалів. [9]

До зварювання необхідно зробити правку та взаємну підгонку заготовок, а також очищення їх поверхні від іржі, мастила, окалини, пилу та інших забруднень. При зварюванні неочищених заготовок помітно знижується якість з'єднань і збільшується знос електродів контактних машин. Спосіб очищення вибирають залежно від розмірів і матеріалу заготовок, характеру забруднень і типу виробництва.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дрібні деталі з окалиною і іржею в умовах масового виробництва очищають у гальтувальних барабанах або травленням в розчинах кислот з наступною нейтралізацією в лужному ванні, промиванням проточною водою і сушкою гарячим повітрям. Окалину і іржу з великих заготовок видаляють абразивними колами або дисковими металевими щітками. Застосовують також гідропіскоструминну або дробеструйну обробку. Жири та олія видаляють бензином, ацетоном або іншими розчинниками. [6]

Щільність струму для сталевих заготовок при зварюванні безперервним оплавленням $3-50 \text{ А/мм}^2$, при зварюванні з підігрівом $3-15 \text{ А/мм}^2$ (нижні межі відповідають зварюванню заготовок великого перерізу). У момент опаді і коротких замикань щільність струму в 2-3,5 рази вище, ніж при стійкому оплавленні. Необхідна потужність машини при стиковому зварюванні залежить від продуктивності процесу і типу зварювальних заготовок. [7]

Швидкість оплавлення опором на початку процесу незначна, зростає до свого максимального значення перед осадкою. Низька початкова швидкість оплавлення збільшує глибину прогрівання деталей, а висока кінцева швидкість оплавлення попереджає окислення металу на торцях.

Швидкість опаді повинна бути не нижче певної межі, який зростає із збільшенням теплопровідності і схильності металу до окислення. Висока швидкість опаді (особливо в початковий момент, коли закривається зазор між оплавленими торцями) ускладнює утворення оксидів і сприяє більш повному видаленню окислів з стику.

Зусилля опаді P зростає з підвищенням жаростійкості зварюваного матеріалу. Воно також зростає зі зменшенням температури металу в навколостикових зонах, за рахунок яких відбувається пластична деформація. [8]

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1.3. Принцип фазного керування

Фазове керування – принцип регулювання потужності за рахунок того, що можна відкривати силові ключі через деякий час після приходу півхвилі живлячої напруги. Через це звичайне використання цього принципу керування – це кола змінного струму, без залежності від кількості живлячих фаз.

1.3.1 Фазове регулювання напруги

Цей принцип керування напругою полягає в тому, щоб подавати на навантаження неповні півперіоди живлячої напруги. Використовується цей принцип для керування потужними навантаженнями зазвичай індуктивного характеру, такими як асинхронні двигуни.

Перевагою фазового керування є те, що ключі, які можуть перебувати тільки в закритому, або відкритому станах можуть пропускати через себе значно більші струми, ніж повністю керовані ключі.

До ключів з неповним керуванням відносять напівпровідникові тиристори та їх електровакуумні аналоги – тиратрони та ігнітрони. При однаковій ціні та складності виготовлення, ключі з неповним керуванням здатні пропускати через себе струми, які в 5 та більше разів більші ніж за струми, які можуть пропускати через себе ключі з повним керуванням.

В наш час все більшого розповсюдження досягають так звані GTO-тиристори. На відміну від звичайних вони можуть бути примусово закриті за допомогою подачі на керувальний електрод імпульсу струму протилежної направленості.

В побуті широке застосування знаходять регулятори змінного струму на основі тиристорів. Це так звані димери. В них присутня ланка, яка повинна зміщувати фазу напруги. Зсув фази регулюється підлаштувальним резистором. За рахунок зсуву фази змінюється і кут відкривання тиристора.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фазове регулювання змінним струмом знаходить широке застосування в системах електропостачання рухомих складів залізничного транспорту. Після початку масового застосування електропоїздів, в них почали використовуватися ігнітрони. Це вакуумні пристрої, протікання струму через котрі забезпечується наповненням їх парами ртуті.

Спотворення форми відбувається через те, що форма протікаючого струму починає різко відрізнятися від ідеальної синусоїди, що викликає значний ріст коефіцієнту нелінійних спотворень і збільшенню викидів реактивної потужності, що є несприятливим фактором при проектуванні енергоефективних перетворювальних систем. [10]

1.3.2 Фазове регулювання моментів вмикання та вимкнення силових ключів, та діюче значення напруги.

Для більш зручного розрахунку енергії, яку може виділити на навантаженні певна напруги використовується поняття діючого значення напруги. В залежності від кута керування силовим ключом для змінної напруги змінюється значення діючої напруги (1.2);

$$U_{d\alpha} = U_d \frac{1 + \cos \alpha}{2} \quad (1.2)$$

1.4 Зварювальний трансформатор

1.4.1 Принцип роботи

Трансформатор для зварювання використовується для перетворення енергії мережі та живлення високим струмом зварювальної дуги, або місця контактного зварювання.

Перетворення енергії в трансформаторах забезпечується спочатку перетворенням електричного струму первинної обмотки в магнітний потік в осерді трансформатора, а потім перетворенням магнітного потоку в струм

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

вторинної обмотки. Коефіцієнт трансформації пропорційний до співвідношення кількості витків первинної та вторинної обмоток.

Осердя трансформатора для роботи при частоті мережі виготовляється з трансформаторної сталі з непоганою магнітною проникністю. Осердя формується з тонких листів, для зменшення втрат на вихрові струми, які ще називаються «струми Фуко», саме вони призводять до зайвого нагріву осердя трансформатор .[11]

Для стабільного горіння зварювальної дуги необхідно утримувати стабільний струм та напругу в місці зварювання, для цього необхідно зменшити напругу на вторинній обмотці, та підвищити максимальний струм, який вона може віддати в навантаження.

При зварювальних роботах з використанням змінного струму, значення напруги зазвичай зменшують до 60 Вольт та менше. Це дозволяє значно підвищити струм вторинної обмотки, що є більш важливим фактором для отримання якісних зварних швів.

Для забезпечення більшої потужності при промисловому використанні зварювальних установок в промислових приміщеннях, які зазвичай живляться від трифазної мережі за рахунок кращої її навантажувальної характеристики, можна використовувати двофазні та трифазні трансформатори. Це дозволяє уникнути так званого явища «перекосу» фаз.

Трифазні трансформатори мають три первинні обмотки, а двофазні – одну, яка виготовляється з кількістю витків, що відповідає кількості витків аналогічного однофазного зварювального трансформатора помножена на два [12].

Для забезпечення стабільного горіння зварювальної дуги, навантажувальна характеристика зварювальних трансформаторів має бути з невеликим кутом нахилу, щоб не допускались просадки напруги та струму зі збільшенням потужності навантаження.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стабілізацію зварювальної дуги при зварюванні установками на основі трансформаторів, що живляться від напруги мережі 220 В, 50 Гц забезпечує досить велика індуктивність первинних обмоток, так як ЕРС одного витка досить мала і їх необхідно намотувати в кількостях від однієї до двох тисяч.

1.4.2 Завантаження трансформатора

Так як зварювання не потребує тривалого протікання струму, то навіть вибір високих щільностей струмів в вторинній обмотці не буде вимагати встановлення примусових систем охолодження.

Якщо зварювання проводиться змінним струмом, то оптимальною з точки зору ціна/якість можна вибирати дріт з урахуванням щільності струму 10-15 А/мм², так як контактне зварювання не вимагає тривалого протікання струму через місце зварювання.

Якщо зварювання проводиться постійним струмом, то необхідно враховувати збільшений струм вторинної обмотки і вибирати запас по щільності струму більший на 40-50%

Не треба забувати, що габаритна потужність трансформаторів залежить від частоти перетворення. Це дозволяє, збільшуючи частоту для трифазних установок, збільшити кількість енергії, яку трансформатор може віддати в навантаження. Зазвичай використовуються частотні перетворювачі, для формування напруги 100-400 Гц з 50 Гц напруги мережі .[13]

1.5 Регулювання потужності

Зазвичай при виготовленні виробів з металу, що потребують використання контактного зварювання, доводиться одним і тим же устаткуванням з'єднувати заготовки різної товщини. Так, для зварювання тонких листових матеріалів необхідна невелика сила струму для унеможливлення виплеску зварюваного металу. В той же час для з'єднання

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

товстих заготовок потрібно встановлювати високий струм зварювання, для повного прогріву та отримання з'єднання високої якості.

1. Зміною магнітного зазору між осердями. Так як повітря має значно меншу магнітну проникність, ніж трансформаторна сталь, або феромагнітні матеріали, магнітний потік, який напряду залежить від магнітної проникності магнітного контуру, буде зменшуватись зі збільшенням ширини немагнітного зазору. Також це зручно для забезпечення роботи одноктних зварювальних перетворювачів, так як магнітний струм насичення буде різко зростати.

2. Переміщенням вторинної котушки по стержнях магнітопроводу. Зазвичай цей метод знаходить застосування в потужних установках, які живляться від трифазної мережі.

Потужність регулюється за рахунок переміщення по осердю трансформатора вторинної обмотки відносно первинної. Збільшуючи відстань між ними, можна домогтись зменшення потужності на вторинній обмотці. Зменшуючи відстань – збільшити потужність

3. Секціонуванням вторинної обмотки. Принцип полягає в тому, щоб від вторинної обмотки зробити відводи, які будуть відповідати різним значенням вихідної напруги обмотки. Так як струм залежить від напруги за законом Ома, то це дозволить зменшити або збільшити потужність на навантаженні відповідно зменшуючи чи збільшуючи напругу на вторинній обмотці.

Зазвичай додаються відводи з кроком, який відповідає різниці в 1.5 – 2 Вольта. Перевагою такого методу є простота використання. До недоліків можна віднести більшу складність в виготовленні трансформатора та ступінчате регулювання напруги на зварювальних електродах.

4. Іноді в побуті використовуються саморобні прилади регулювання потужності зварювальних трансформаторів. Ці методи заасновані на обмеженні струму первинної обмотки за рахунок під'єднання до неї потужного навантаження послідовно. Зазвичай в якості таких навантажень

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

використовуються прутки або листи з металів, які мають невисокий температурний коефіцієнт опору, наприклад ніхром.

Навантаження виготовляється шляхом виготовлення окремого прутка, або листа з досить великою площею поперечного перерізу. Такий метод регулювання є досить дешевим, але він несе в собі зменшення жаростійкості та зменшення ККД зварювального апарата.

Під час роботи обмежувальний «резистор» досить сильно нагрівається (500-600 градусів), що привносить незручності для використання.[14]

На основі отриманих даних з літературних джерел стає можливим розробка джерела живлення для контактної зварювання з здатністю керування потужністю, яка буде віддаватися в навантаження.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Структурна схема проекту (рис.2.1) складається із двох частин:

- керувальний модуль на основі мікроконтролера;
- силова частина.

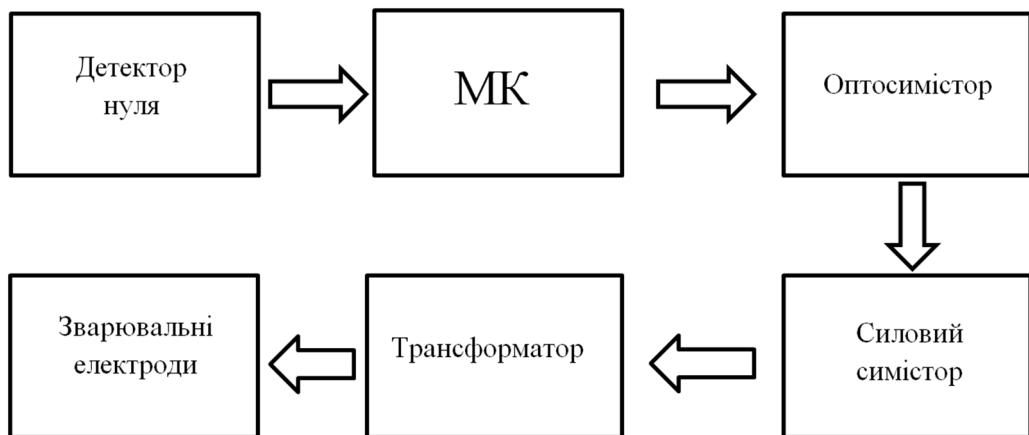


Рис.2.1 Схема електрична структурна

Структурна схема пристрою складається з функціональних блоків до складу котрих входить:

- електронний ключ на основі симістора;
- детектор переходу напруги через нуль;
- понижуючий трансформатор;
- зварювальні електроди.

Структурна схема дає уявлення про зв'язок між окремими модулями, але не відображає окремі мікросборки, що утворюються об'єднання певних блоків. Для обміну даними між мікроконтролером і силовою частиною використовуються мікросхеми гальванічної розв'язки. Це зроблено для унеможливлення попадання високої напруги на низьковольтну частину схеми:

- оптрон з детектора нуля під'єднаний до МК за допомогою одного цифрового виводу.

- оптосимістор під'єднаний до МК;
- силовий симістор керується оптосимістором;
- напруга на первинній обмотці трансформатора формується силовим симістором.

Схема електрична принципова силовій частини схеми електричної структурної знаходиться в додатку Е. Схема електрична принципова всього джерела живлення знаходиться в додатку Є.

2.1 Вибір зварювального трансформатора

Для виготовлення зварювального трансформатора були взяті два трансформатора ЕВJ39Т39221 для мікрохвильових печей, так як вони мають досить високу потужність при невеликих розмірах. В даному випадку обидва трансформатора мають паспортну потужність 1300 Ват кожен.

Для виготовлення зварювального трансформатора два трансформатора були розібрані, з них видалені високовольтні обмотки. Потім осердя були з'єднані в одне і була виготовлена низьковольтна вторинна обмотка, яка складається з 7 витків дроту з великою площею поперечного перерізу. Така конфігурація дає високу потужність та великий максимальний струм вторинної обмотки.[15]

Кресленик виготовленого осердя, та фотографія готового трансформатора знаходяться в Додатку Б.

2.2 Розробка схеми детектора переходу напруги мережі через нуль

Для керування процесом відкривання симістора необхідно чітко знати момент переходу мережевого навантаження через нуль. Для цього використана схема детектора нуля, яка в момент переходу напруги через нуль дає на виході оптопарі імпульс нульової напруги.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема детектора нуля, змодельованого в середовищі Proteus, наведена на рисунку нижче (рис.2.2).

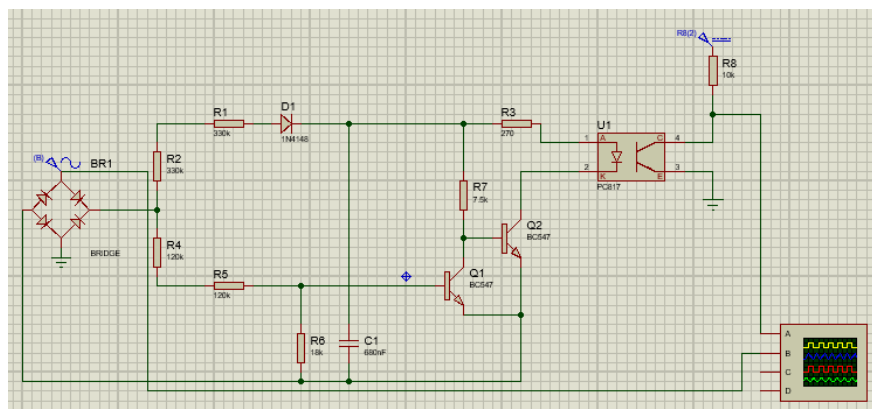


Рис. 2.2 Модель детектора нуля

Осцилограма, яка демонструє роботу пристрою зображена на рис.2.3. Жовтою лінією показана вихідна напруга з оптопар, синьою – напруга мережі 220 Вольт 50 Гц:

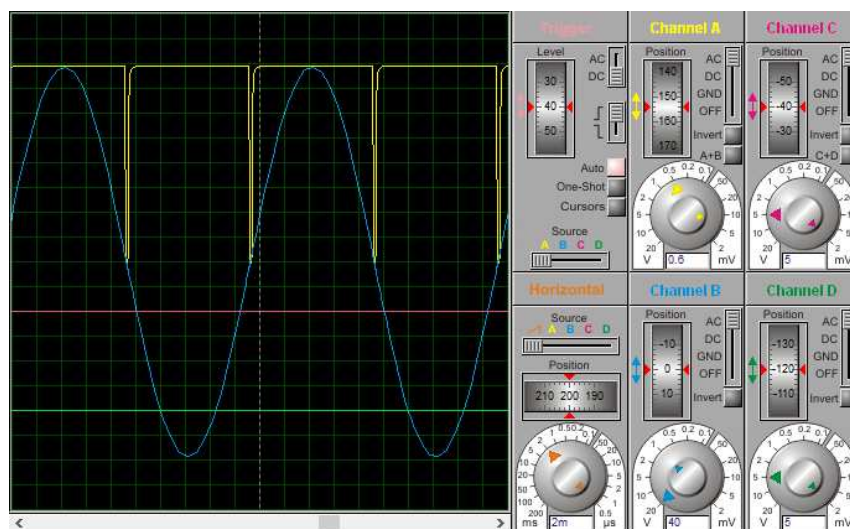


Рис.2.3. Осцилограма напруг на детекторі нуля

Принцип роботи детектора нуля полягає в тому, що напруга з конденсатора розряджається біля свого максимального значення і відкриває на короткий момент часу світлодіод оптрона. Змінюючи номінали резисторів

заряду конденсатора, можна виставити момент часу, в який оптрон буде відкриватися.

Це дозволить виготовити систему детектування переходу напруги мережі через нуль.

Також такий детектор може допомогти при проектуванні систем керування фазових регуляторів напруги з високим ККД, так як силові тиристори або транзистори мають найменші втрати при комутації, коли вони комутують невеликі струми.

2.3 Розробка друкованої плати системи керування

Друкована плата — пластина, виконана з діелектрика (склотекстоліт, текстоліт, гетинакс, ситал тощо), на якій або/і всередині якої сформований хоча б один шар з провідними доріжками. На друковану плату монтуються електронні компоненти, які з'єднуються своїми виводами з елементами провідного рисунка паянням, або, значно рідше, зварюванням, у результаті чого складається електронний модуль — змонтована друкована плата.

2.3.1 Матеріали для виготовлення друкованих плат

Для виготовлення друкованих плат зазвичай використовують листові матеріали з високою ізоляційною здатністю. Друковані плати бувають жорсткі та гнучкі. До гнучких відносять різноманітні шлейфи та інші. Жорсткі плати більш розповсюджені за рахунок їхньої дешевизни та надійності. Для виготовлення друкованих плат використовують фольговані діелектрики, такі як фольгований склотекстоліт.

Це листовий матеріал, який складається з скловолокна, яке з'єднане епоксидними смолами. Товщина мідної фольги зазвичай складає 35 мкм. Зустрічається склотекстоліт з більш товстим шаром фольги для пропускання через струмоведучі доріжки більших струмів.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маркування склотекстоліту виглядає наступним чином: СФ-1-35-1,5 ГОСТ 10316-78, де:

- СФ – вид: склотекстоліт фольгований;
- 1 – фольга з одного боку, для двостороннього – 2;
- 35 – товщина фольгованого шару в мікрометрах
- 1,5 – товщина всього листа, сума товщини скловолоконного листа разом з шаром фольги.

Зазвичай друковані плати виготовляються фотохімічними способами. Рисунок на склотекстоліт наноситься за допомогою фоторезисту, а потім незакрита мідь стравлюється в розчині хлорного заліза або персульфату амонію.

Друкована плата виготовляється індивідуально до кожного виду електронного виробу, зважаючи на розміри та корпуси компонентів. Для розробки друкованих плат випускається велика кількість систем автоматизованого проектування таких як Altium Designer, PCAD, Sprint Layout та інші.

2.3.2 Трасування друкованої плати

Шаблон друкованої плати (рис.2.4) був розроблений в середовищі Altium Designer. Altium Designer - це комплексна система автоматизованого проектування електронних пристроїв, що дозволяє розробляти друковані плати з двостороннім обміном з механічними САПР, такими як Solid Works.

В даному випадку плата була виготовлена на односторонньому листі текстоліту, так як схема електрична принципова має невисоку складність. При проектуванні друкованих плат для пристроїв силової електроніки необхідно звернути увагу на наступні моменти:

1. Доріжки, які використовуються в ланцюгах, струм в яких досягає великих значень, мають мати досить велику ширину для забезпечення оптимального теплового режиму роботи пристрою

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Так як регулювання в джерелі живлення відбувається на напрузі 220 Вольт, необхідно забезпечити достатню відстань між провідниками для виключення можливості пробою ізоляції, що може призвести до аварійних ситуацій

3. При проектуванні необхідно враховувати той фактор, що деяким силовим ключам може знадобитися встановлення радіатора, так як максимальний струм, що можуть пропускати через себе напівпровідникові пристрої зменшується з ростом температури кристала.

4. Для забезпечення стабільної роботи цифрових пристроїв, що використовуються для керування силовими ключами, необхідно розташовувати мікроконтролери або пристрої програмованої логіки якнайдалі від джерел електромагнітних завад, таких, як трансформатори. Ідеальним варіантом є передавання інформації по протоколу RS-485. Диференціальні лінії, які для цього використовуються, мають дуже велику завадостійкість і сигнали в них не спотворюються навіть при великій кількості завад ззовні.

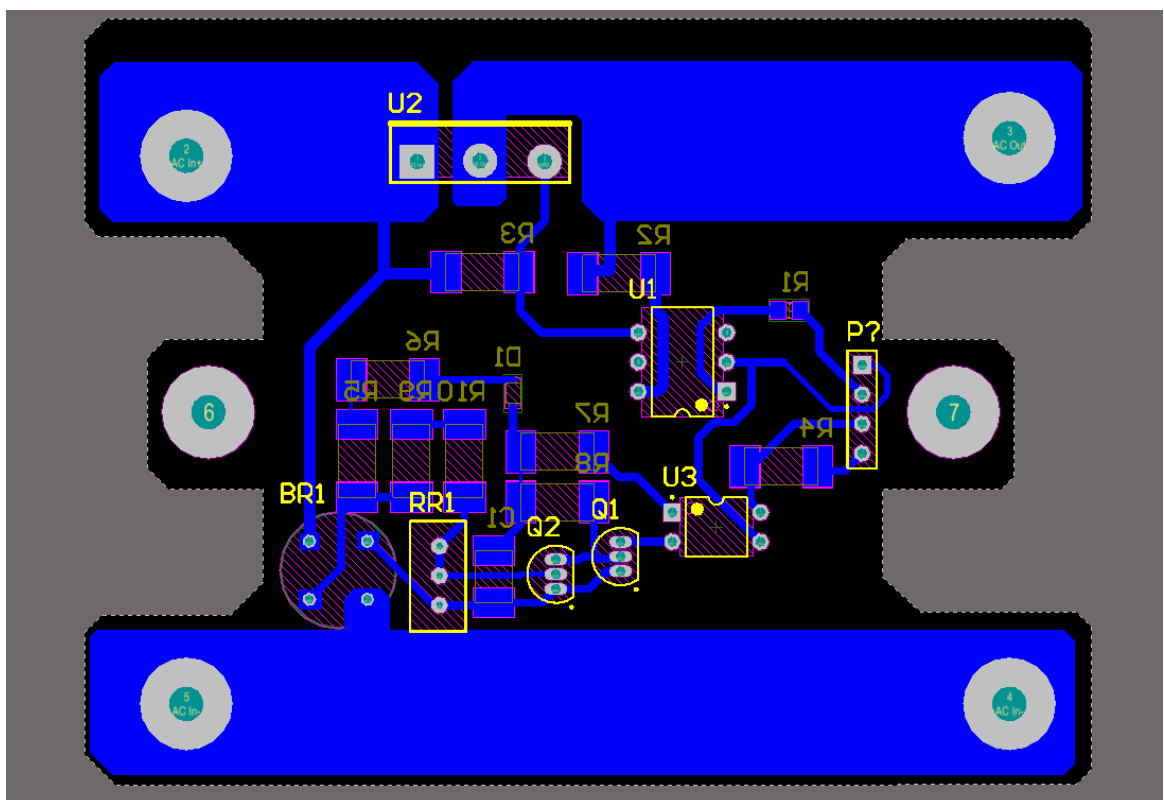


Рис. 2.4. Друкована плата силової частини джерела живлення

Друкована плата виготовлена на склотекстоліті товщиною 1.6мм з товщиною металізації міддю 35мкм. Такий вибір обумовлений широкою розповсюдженістю даного матеріалу. Струмopовідні доріжки зроблені шириною 10мм. Плата виготовлена за допомогою наступних технологічних операцій:

- з середовища Altium Designer експортований шаблон з трасуванням;
- шаблон роздрукований на термотрансферному папері за допомогою лазерного принтера;
- в умовах нагріву та тиску, тонер з термотрансферного паперу переводиться на попередньо знежирену та очищену поверхню склотекстоліту;
- зтравлювання міді проводиться в розчині персульфату амонію
- після повного зтравлювання зайвої міді проводиться свердління отворів для монтування в них вивідних компонентів;
- після свердління та очищення плати від залишків тонера проводиться монтаж компонентів на друковану плату.

На рис. 2.5 зображена плата після свердління та очистки, та після монтажу компонентів на неї (рис. 2.6 та 2.7).



Рис.2.5 Друкована плата перед встановленням на неї компонентів

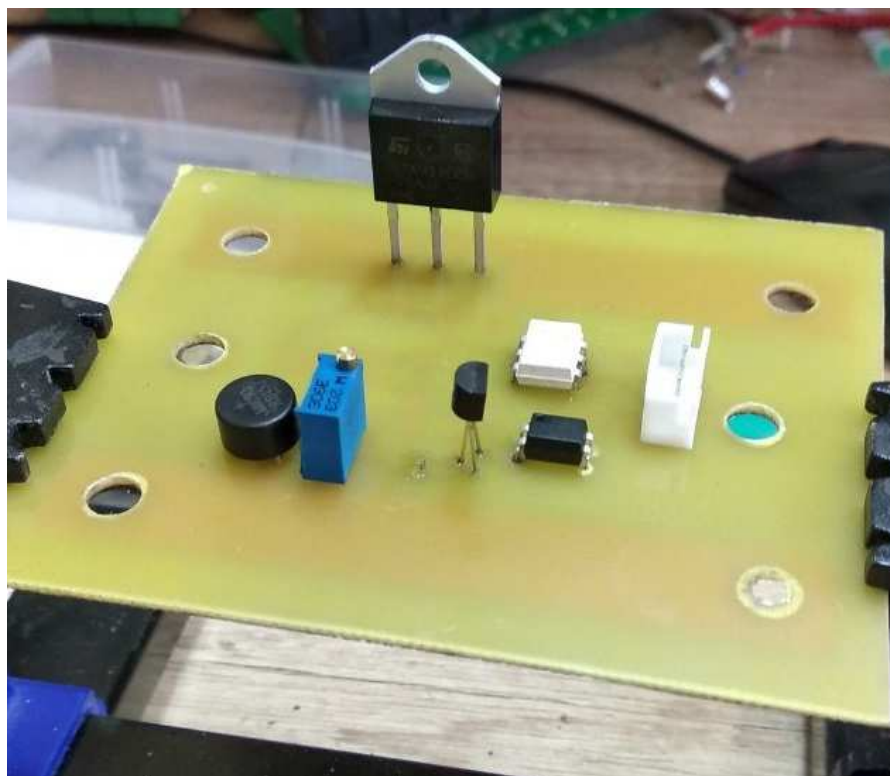


Рис.2.6 Друкована плата після встановлення на неї компонентів

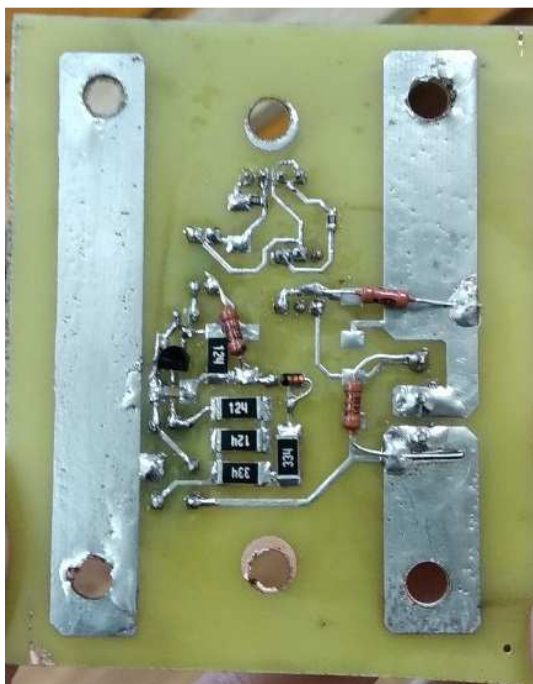


Рис.2.7 Вид знизу на плату зі встановленими компонентами

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДС52.512.218.001 ПЗ

Арк.

33

2.4 Розробка програмного забезпечення для керування джерелом живлення

Джерело живлення керується за допомогою мікроконтролерного пристрою на основі МК STM32.

STM32 це сімейство мікроконтролерів, які засновані на ядрі ARM з RISC архітектурою. Вони являються зручними для виконання широкого спектру задач. Компанія STMicroelectronics однією з перших вивела на ринок сімейство мікроконтролерів на ядрі ARM Cortex-M3 і на сьогоднішній день по праву займає лідируюче місце серед виробників мікроконтролерів на цьому ядрі. Все почалося в 2007 році з двох сімейств-Performance Line (STM32F103) і Access Line (STM32F101).

Компанія постійно працює над розширенням номенклатури сімейства, так і над поліпшенням характеристик, не забуваючи при цьому також поповнювати програмну складову продукту.

На сьогоднішній момент STM32 вже складається з 10 лінійок (рис.2.8) для всіляких застосувань — мікроконтролери з високою продуктивністю, недорогі мікроконтролери загального застосування, мікроконтролери з ультранизьким енергоспоживанням, мікроконтролери з вбудованим радіомодулем для бездротових рішень, і все це — на одному ядрі ARM Cortex-M3! Не можна не відзначити pin-to-pin і програмну сумісність по всіх лінійок. Для більш детальної інформації по сімейству STM32 слід відвідати офіційний сайт компанії [16].

Найбільш популярними (але і найдорожчими) серед розробників для розробки ПЗ під архітектуру ARM є інструментарії від компаній Keil і IAR Systems. Це обумовлено найбільш просунутими с-інструментаріями з точки зору оптимізації і компактності коду. Також, крім лідируючих позицій в с-інструментаріях, дані компанії надають широкі Набори додаткового по-операційні системи реального часу, USB-стеки, TCP/IP-стеки і багато іншого,

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

але за додаткову плату. До того ж компанія Keil належить ARM, і при користуванні послугами цих двох компаній ви отримуєте дуже хорошу технічну підтримку.

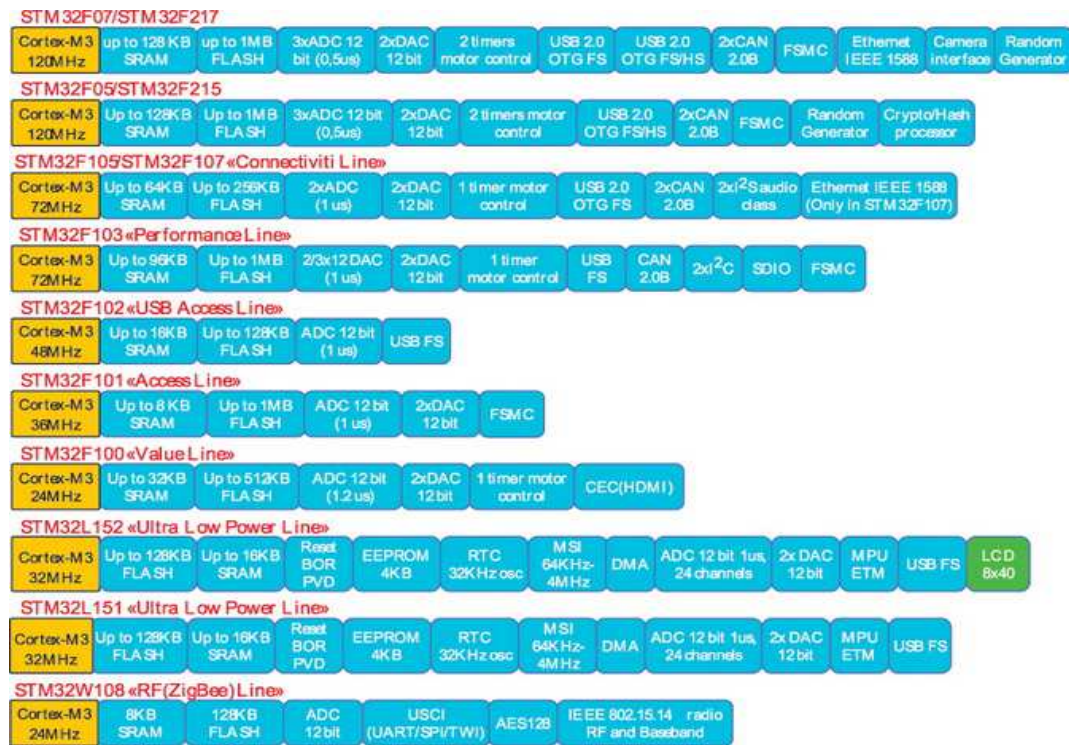


Рис.2.8 Лінійки мікроконтролерів серії STM32

Вибір обумовлений універсальністю інструментарію, що підтримує більшість відомих нам архітектури мікроконтролерів таких виробників як STMicroelectronics, Texas Instruments, Microchip, Atmel і т. д.

Також слід відзначити популярність засобів на основі компілятора GCC. Існують як платні їх варіанти, так і безкоштовні. Крім усього, GCC є лідером за кількістю підтримуваних процесорів і операційних систем.

Як приклад варіанту платних коштів у зведеній таблиці ми привели інструментарії від компаній Raisonance і Atollic. Порівняно з двома раніше описаними варіантами ви отримуєте за набагато менші гроші повноцінний C-інструментарій із середовищем розробки і технічною підтримкою. Також існує варіант повністю безкоштовного інструментарію, наприклад, середовище

розробки Eclipse і компілятор GCC. Більш докладно за безкоштовним варіантом питання слід звернутися до джерела [17].

На ринку існує величезний вибір оціночних плат для STM32 як від STMicroelectronics, так і від сторонніх виробників. Наприклад, недорогі і оригінальні модулі «Махаон» і «Барракуда» - пропонує компанія Терраелектроника. Але наша основна мета — використовувати для ознайомлення та вивчення мікроконтролерів сімейства STM32 доступні і по можливості недорогі модулі. Саме для таких цілей компанія STMicroelectronics розробила лінійку оціночних плат «Discovery»: для восьмибітних мікроконтролерів — STM8S-Discovery і STM8L-Discovery, для 32-бітних — STM32VLDISCOVERY.

Особливість даних оціночних плат полягає в завершеному рішенні для старту розробки програмного забезпечення на мікроконтролерах — сам мікроконтролер з необхідною обов'язкою і зовнішніми компонентами, а також інтегрований програматор-відладчик ST-Link. Це повноцінне рішення, яке не потребує додаткових витрат, а ринкова ціна плат "Discovery" становить 10 ... 15\$.

Використовуючи ці плати у власних розробках, можна застосовувати для програмування і налагодження власних програм вбудований ST-Link через виведений зовнішній роз'єм. З урахуванням всього сказаного, для широкого кола радіоаматорів і розробників комерційних компаній відпадає необхідність в самостійному виготовленні налагоджувальних плат і програматорів.

В журналі «Новини Електроніки» №6 за 2010 рік була опублікована стаття «STM8 з нуля», в якій розглядалася налагоджувальна плата STM8S-Discovery.

На рис. 2.9. показана оціночна плата.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

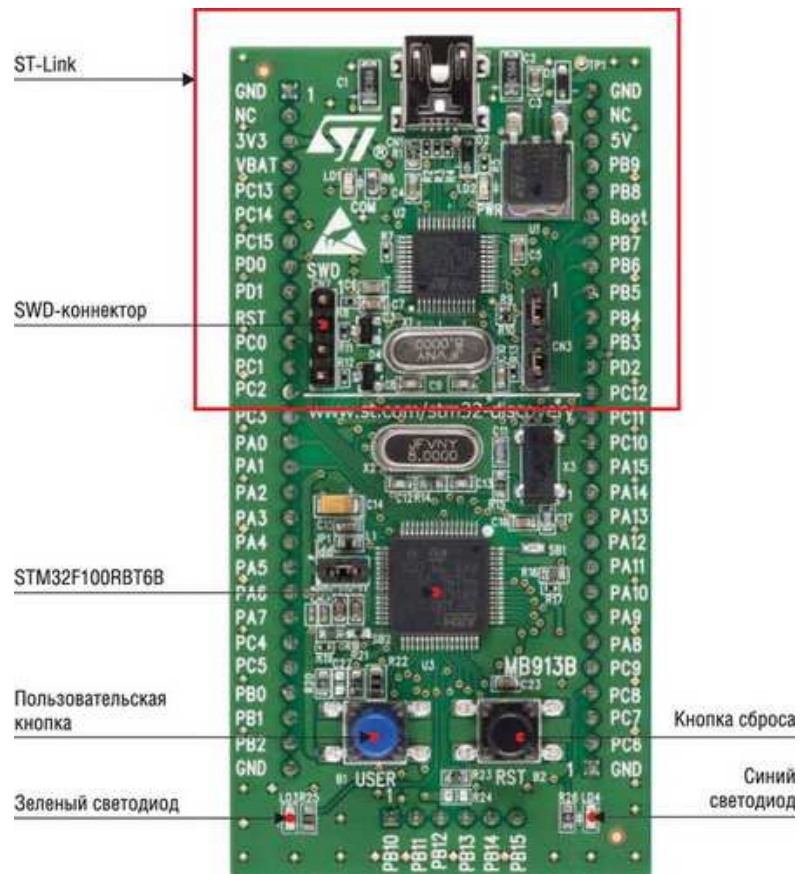


Рис.2.9 Оціночний набір STM32VLDISCOVERY

В основі плати — мікроконтролер лінійки «Value Line» STM32F100RBT6, програматор-відладчик ST-Link з виведеним роз'ємом SWD, механічні кнопки, світлодіоди і обв'язка. Вільні ніжки мікроконтролера виведені на зовнішні роз'єми.

2.4.1 Алгоритм керування силовим ключом

Для керування силовим симістором був розроблений наступний алгоритм (рис. 2.10):

1. при натисканні на педаль для початку зварювальних робіт в пам'ять мікропроцесора записується 100 значень змінної, яка відповідає за затримку видачі імпульсу для відкривання силового ключа;
2. після того, як на вхід мікроконтролера приходить спадаючий фронт з детектора нуля, починається відлік часу в вбудованому таймері. Цей час визначається значенням змінної, яка була записана до цього;



Рис.2.10 Блок-схема алгоритму керування

Код для програмування мікроконтролера наведений в Додатку А.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДС52.512.218.001 ПЗ

Арк.

38

3. таймер через визначений час подає на вихід сигнал високого рівня, тривалість котрого становить 1 мілісекунду, що є достатнім для стабільного відкривання ключа;

4. після подачі відкриваючого імпульсу на оптосимістор, мікроконтролер записує в внутрішню пам'ять наступне значення затримки у часі після прийняття імпульсу з виходу детектора нуля;

5. після відпрацювання 100 значень мікроконтролер переходить в режим очікування до наступного натискання на кнопку чи педаль запуску.

Великою перевагою такого метода керування є те, що оператор власноруч може задати форму зварювального струму, що є важливим для отримання високої якості зварного з'єднання.

2.4.2 Розробка друкованої плати для мікроконтролера

Друкована плата для мікроконтролера розроблена в середовищі Altium Designer. Схема електрична принципова наведена на рис. 2.11.

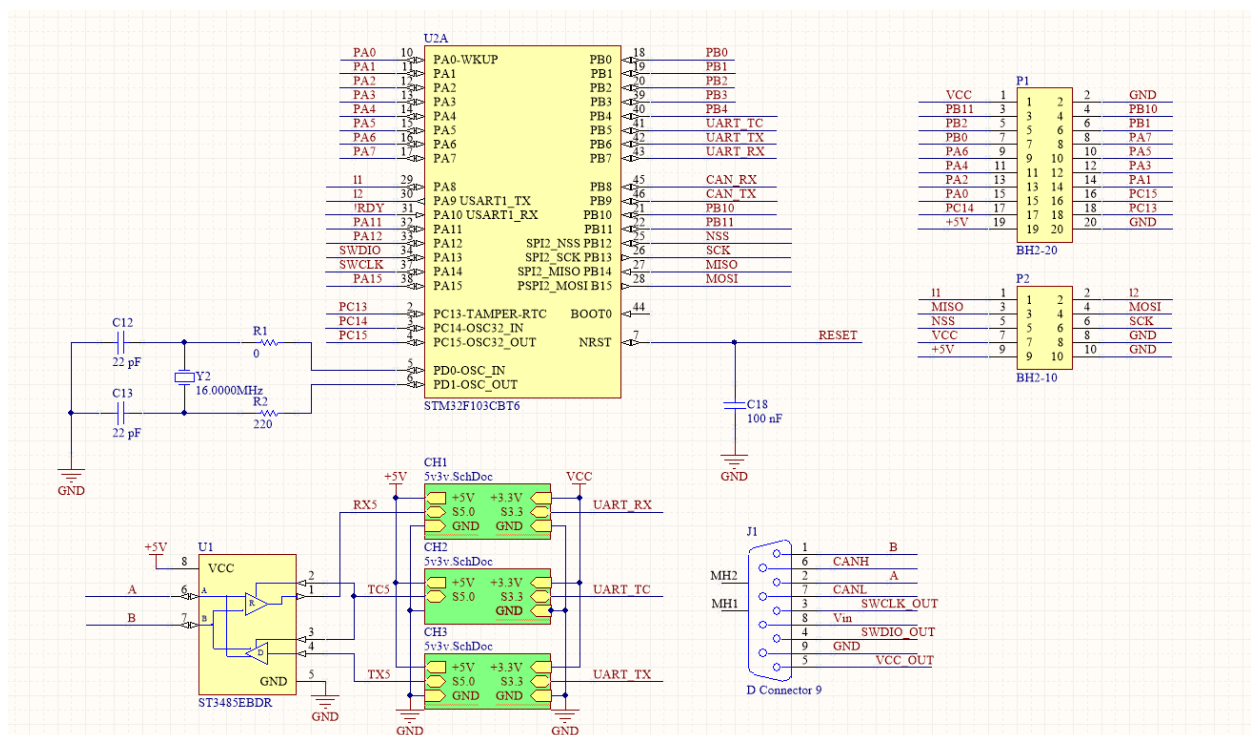


Рис.2.11 Схема електрична принципова мікроконтролерного пристрою на основі МК

STM32

Друкована плата пристрою наведена на рис.2.12.

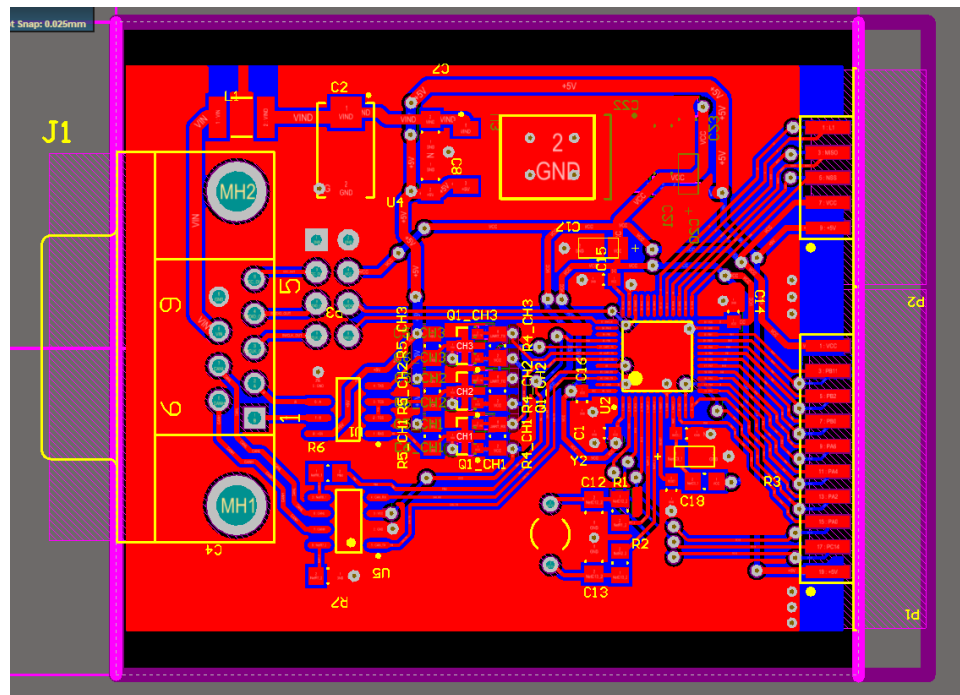


Рис.2.12. Друкована плата мікропроцесорного пристрою.

В тривимірному просторі плата виглядає наступним чином (рис.2.13.)

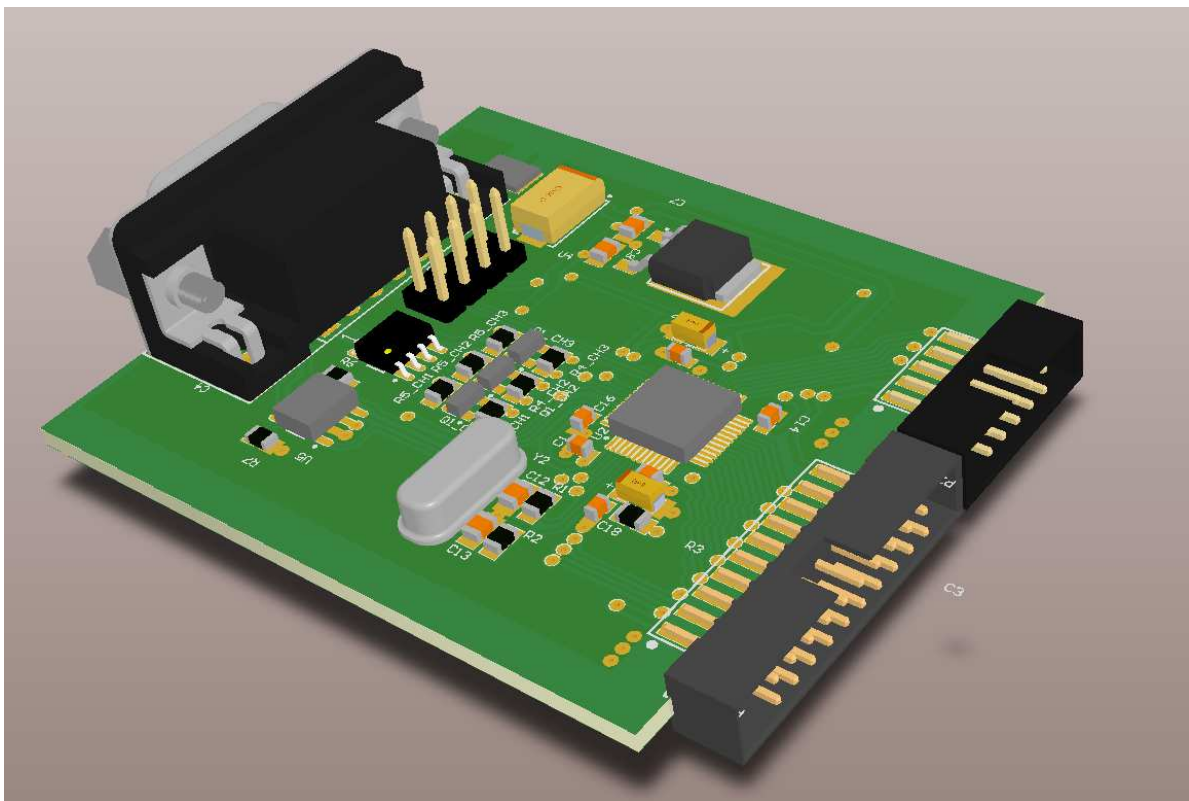


Рис.2.13. Тривимірне зображення друкованої плати мікроконтролерного пристрою з розташованими на ній елементами обв'язки.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

2.5 Вибір компонентів

При виборі компонентів силової схеми були проведені наступні міркування:

- компонент має витримувати струм навантаження;
- компонент має мати високу міцність ізоляції для роботи при високих напругах;
- компонент має мати невисоку вартість.[18]

2.5.1 Вибір резисторів

Резистори в електричних схемах використовуються для того, щоб створювати потрібне падіння напруги на вузлах та для обмеження максимального струму через гілку.

В схемі детектора нуля вони потрібні для задання правильної постійної часу перехідного процесу зарядки конденсатора. Постійна часу визначається:

$$\tau = CR \quad (2.2)$$

Оптимальним рішенням було вибрати резистори в корпусі для поверхневого монтажу SMD 2512, так як вони мають зручні розміри для пайки.

2.5.2 Вибір оптопар

Оптопара – електронний компонент, який призначений для гальванічної розв'язки цифрової частини схеми та силової частини. Це унеможливорює попадання високої напруги з силової частини на цифрову.

Гальванічна розв'язка – спосіб передачі сигналу за рахунок електромагнітного, або світлового зв'язку.

Оптопара містить в собі світлодіод, та фототранзистор. Фототранзистор відкривається, коли на нього потрапляє світло зі світлодіода.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Для коректної роботи оптопари на колектор фототранзистора необхідно подавати живлення, так як вихід оптопари побудований за топологією відкритого колектору (open collector).

На колектор через резистор 7,5 кОм подається 5 Вольт напруги живлення з ланцюга живлення мікроконтролера.

Оптопара вибрана PC817.

2.5.3 Вибір транзисторів

Транзистор – електронний ключ, побудований на основі взаємодії двох р-п переходів. В нашому випадку використовуються NPN транзистори, так як їм необхідне живлення від джерела позитивної напруги(на колектор подається «+» живлення).

Вибір транзисторів полягає в пошуку найдешевшої моделі, яка здатна пропускати через себе струм відкритого світлодіода оптопари.

В нашому випадку світлодіод споживає 10 мА. Тому транзистори взяті BC547.

2.5.4 Вибір оптосимістора

Оптосимістор – прилад гальванічної розв'язки, який містить в собі світлодіод та фотосимістор.

На відміну від оптопари, фотосимістор здатний пропускати через себе струм в обидві сторони. Це необхідно для коректної роботи силового симістора, так як він працює в ланцюгу змінного струму мережі.

Основним параметром оптосимістора є струм на виході фотосимістора. Він має відповідати струму керувального електрода силового симістора. Струм керувального електрода силового симістора складає 50 мА.

Виходячи з цього оптосимістор вибраний МОС3052.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

2.5.5 Вибір силового симістора

Симістор – напівпровідниковий прилад, робота якого заснована на взаємодії чотирьох р-п переходів. На відміну від транзистора, він може знаходитися тільки в двох станах: відкритому та закритому. На відміну від тиристора, симістор може пропускати струм в обох напрямках.

Для керування, симістор має керувальний електрод. Для відкривання симістора на керувальний електрод потрібно подати імпульс струму невеликої довжини.

Симістор вибирається на основі максимального струму, який він може пропускати через себе.

На основі цих міркувань симістор вибраний ВТА41-800BW. Максимально допустимий струм через нього складає 40 А, та максимальна напруга 800 Вольт, що більш ніж вистачає для наших цілей.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.ВИПРОБУВАННЯ ВИГОТОВЛЕНОЇ УСТАНОВКИ ТОЧКОВОГО КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Для випробувань був виготовлений інструмент для стискання заготовок перед зварюванням. Він являє собою важіль з встановленим на нього електродами з листа міді товщиною 1,2мм. [19] Дріт з вторинної обмотки трансформатора закріплений на електродах. [20] Зовнішній вигляд установки наведений в Додатку Г.

Після випробувань були зроблені наступні висновки:

1. Якість зварного з'єднання на заготовках товщиною до 1мм являється доброю, зі значним зусиллям на розрив та скручування.

2. Під час роботи джерела живлення присутній шум від трансформатора, який виникає під дією магнітострикції. Для подолання цього недоліку необхідно жорстко закріпити половини осердя між собою за допомогою гвинтових з'єднань, або склеювання.

3. Максимальний струм вторинної обмотки при циклі зварювання в 1 секунду складає близько 1500 А.

4. Тепловий режим роботи трансформатора при максимальній потужності не порушується. Це було досліджено за допомогою встановлення на осердя хромель-копелевої термопари. Температура осердя не піднімалася вище 47°C.

Осцилограма напруги на вторинній обмотці зварювального трансформатора при потужності 20% (рис.3.1)

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

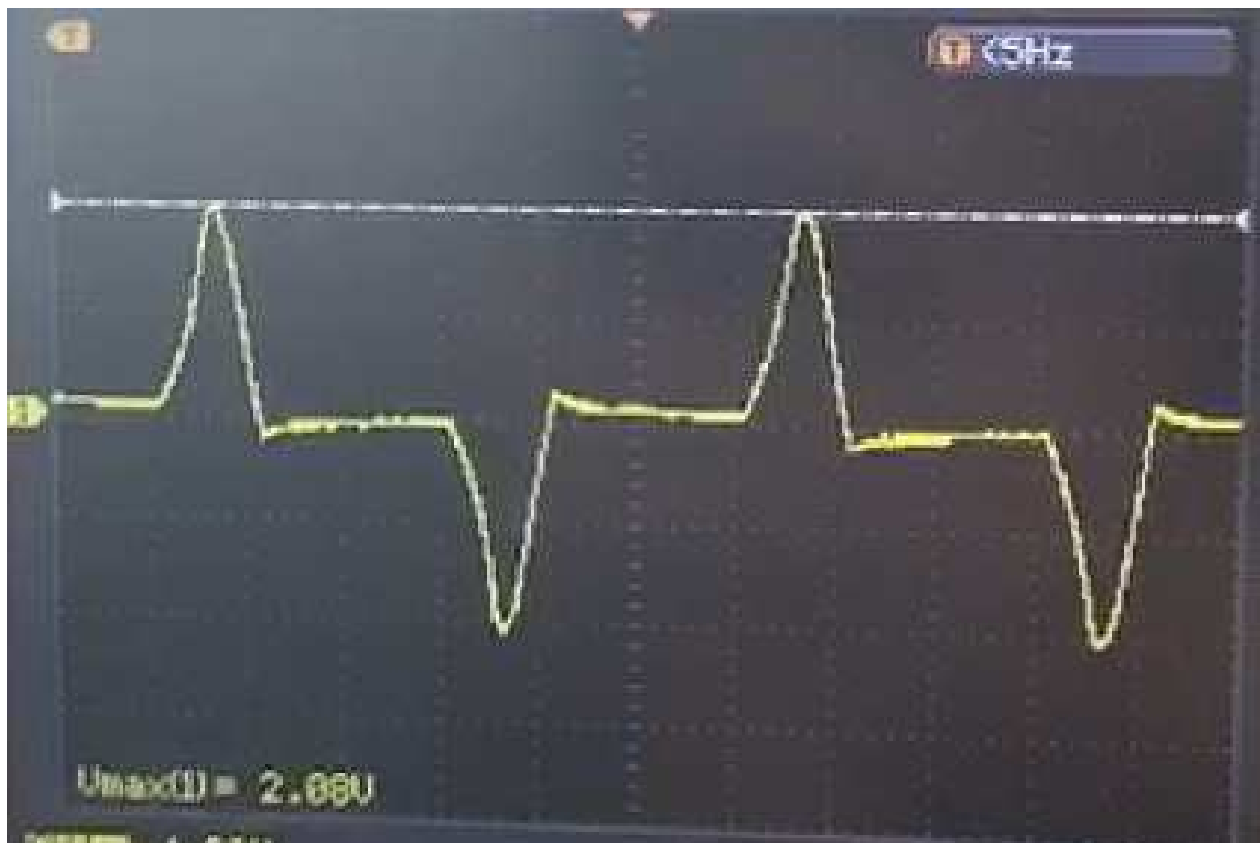


Рис.3.1 Осцилограма вихідної напруги

Фотографії зварених заготовок знаходяться в Додатку Д.

3.1 Порівняння вартості розробленого джерела живлення для контактного зварювання з серійними зразками

Розрахунок собівартості розробленого джерела живлення.

1. Трансформатор EBJ39T39221, 1300 ВА, 2 одиниці – 1200 грн.
2. Симістор ВТА41-800В – 65 грн.
3. Оптосимістор МОС3052 – 12,5 грн.
4. Оптопара РС817 – 7 грн.
5. Транзистор ВС547, 2 од. – 2 грн.
6. Резистори SMD 2512 – 10 грн.
7. Плата з МК STM32 – 90 грн.
8. Кабель силовий для виготовлення вторинної обмотки, 2,5 м – 50 грн.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$\Sigma = 1200 + 65 + 12,5 + 7 + 2 + 10 + 90 = 1381,5$$

3.2 Зразки серійних джерел живлення для точкового контактного зварювання.

Для порівняння був вибраний один з найдешевших зразків зварювальних апаратів КРАБ 3 кВт (рис.3.2)




Рис. 3.2 Апарат контактного зварювання КРАБ-3

В порівнянні з серійним зразком розроблене джерело має наступні переваги:

1. менша маса;
2. можливість керування з комп'ютера;
3. можливість налаштування довжини та форми зварювального струму;
4. значно менша ціна.

Для порівняння з високоякісними установками для контактного зварювання вибраний зразок зварювального апарата GI KRAFT GI2114-220 (рис.3.3).

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



Код: GI12114-220

Споттер 220V/ 5200A цифровой дисплей G.I.KRAFT GI12114-220 (Германия)

Всі пропозиції продавця
В наявності

Безкоштовна доставка

15 561 грн.

Кількість:
1 шт.

Купити

Написати продавцю

Додати у вибране

інформація неактуальна?

Рис.3.3 Зразок зварювального апарата GI KRAFT GI2114-220

В порівнянні з розробленим джерелом живлення серійний зразок має наступні переваги:

- більший струм вторинної обмотки;
- правильно виготовлені електроди для зварювання;
- наявність дисплею для контролю потужності;
- більший час безперервної роботи.

З недоліків можна виділити:

- значно вища ціна;
- відсутність можливості задавати довільну криву величин імпульсів зварювального струму;
- значні габарити та маса.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В ході виконання дипломного проекту було розроблено і виготовлено джерело живлення для точкового контактного зварювання. На основі отриманих даних були зроблені наступні висновки:

1. Однією з проблем виявилась велика індуктивність первинної обмотки трансформатора, що унеможливило отримання необхідної форми струму в ній, однак це не заважає керуванню.
2. Великою перевагою розробленого джерела живлення являються компактні розміри при досить великій потужності.
3. На відміну від серійних зразків джерел живлення для контактного зварювання з подібними параметрами, розроблене джерело живлення має широкі межі регулювання.
4. За рахунок використання мікроконтролерного керування можна задати довільну форму імпульсу зварювального струму.
5. Розроблене джерело живлення має невисоку собівартість за рахунок використання доступних компонентів.

Для покращення показників розробленого джерела живлення потрібно:

1. Використовувати спеціально розроблений трансформатор для зварювальних робіт для максимально ефективного перетворення енергії;
2. Виготовити електроди згідно стандартів для коректного формування зварювального осередку.

Виконання дипломного проекту торкнулося вивчення відразу комплексу різноманітних дисциплін з електроніки, таких як силова електроніка, перетворювальна техніка, мікропроцесорні системи, технологічні основи електроніки.

Трасування друкованої плати було виконане в одній з найкращих програм – Altium Designer.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Також були отримані навички з роботи на високотехнологічному устаткуванні, такому як фрезерувальний верстат с числовим програмним керуванням. Це дозволяє надалі виготовляти друковані плати складної форми для більш щільного компонування в готовому пристрої.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Шляхи підвищення ефективності контактного зварювання: Тез. докл. На Всесоюз. науч. - Техн. конф. (Жовтень 1980)/[Наук. Редактори В.І. Сніжко, Г.А. Ліповіч] 82 с. іл. 20 см., Таганрог Б. і. 1980
2. Банов М.Д., Казаков Ю.В., Козулін М.Г. Зварювання та різання матеріалів. - 54-55 с.
3. Кабанов Н.Г., Сліпак Е. Ш. Технологія стикового контактного зварювання. М., В "Машинобудування В", 1969.
4. Каракозов э.с., мустафаев р.и. Справочник молодого электросварщика. - м.: высшая школа, 1992.
5. Гуляев А.І. Технологія точкової і рельєфного зварювання сталей. М., В"МашинобудуванняВ", 1969.
6. Банов м.д. Технология и оборудование контактной сварки. - м.: академия, 2008.
7. Харламова Е.В. Технологические основы сварки плавлением. - Новосибирск, 2006
8. Гельман А.С. Технологія та обладнання контактного електрозварювання. М., Машгиз, 1960
9. Орлов Б.Д., Чулошніков П.Л. Контактна електрозварювання легких сплавів. М., Машгиз, 1963
10. Фазове_регулювання. Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Фазове_регулювання
11. А.Кузнецов. Трансформаторы и дроссели для ИИП.2002
12. Алексеев Е. Д., Мельник В. І. Зварювання в промисловому будівництві. - Стройиздат, 2000. - 377 с.
13. Закс М.И.,Каганский Б.А.,Печенин А.А - Трансформаторы для электродуговой сварки,1988

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Альошин Н. П., Щербинский В. Г. Контроль якості зварювальних робіт. - М.: Вища. школа, 2006. - 167 с.
15. Подъяпольский А.Н. - Как намотать трансформатор 1953
16. STM32 32-bit Arm Cortex MCUs. Режим доступа до ресурсу:
<https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>
17. Микроконтроллеры STM32 «с нуля» Режим доступа до ресурсу:
<https://www.compel.ru/lib/ne/2011/2/4-mikrokontrolleryi-stm32-s-nulya>
18. Касаткин а. С., Немцов м. В. Курс электротехники. М.: Высшая школа, 2005.
19. Сліозберг С.К. Мідні сплави та електроди контактних зварювальних машин. М., В"МашинобудуванняВ", 1970.
20. Фоминых В. П., Яковлев А. П. Электросварка. Учебник для проф.-техн. Училищ. Изд. 4-е, перераб. И доп. М., "Высш. Школа", 1976. 288 с. С ил.
21. Москатов Е. А. Источники питания
22. Борисов О.В. Основы твердотільної електроніки / О. В. Борисов; за ред. Ю. І. Якименка. – К.: Освіта України, 2011. – 462 с. – Бібліогр.: с. 487–488. українською мовою
23. Артеменко М.Ю., Жуйков В.Я., Якименко Ю.І. Матрично-топологічний аналіз вентильних перетворювачів: Навч. посіб. (Рішення Міністерства освіти і науки України № 14/18-2-1708 від 18.09.2002 р.)–К.: Політехніка, 2002. – 104 с.
24. Горбачев Г. Н., Чаплыгин Е. Е. Промышленная электроника: Учебник для вузов/Под ред. В. А. Лабунцова.. — М.: Энергоатом-издат, 1988. — 320 с.
25. Чиженко И.М. Справочник по преобразовательной технике.. — К.: Техніка, 1978. — 447 с.

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Кублановский. Я. С. Тиристорные устройства. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1987. — 112 с.: ил. — (Массовая радиобиблиотека. Вып. 1104

27. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. — М.: Энергия, 1977

					ДС52.512.218.001 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А. Програма для мікроконтролерного пристрою керування:

```
PROGRAM FOR STM32F103C8T6
/* Program data structure instance */
Data dat;

/* Private function prototypes -----*/
void SystemClock_Config(void);
void procRequest(uint8_t *len, uint8_t *dataIn, uint8_t *dataOut);
void procStart(uint8_t *len, uint8_t *dataIn, uint8_t *dataOut);
void procStop(uint8_t *len, uint8_t *dataIn, uint8_t *dataOut);
void procPulse(uint8_t *len, uint8_t *dataIn, uint8_t *dataOut);
uint32_t readFlash(uint32_t adress);
void writeFlashAll();
void readFlashAll();

int main(void)
{
    /* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface and the Systick. */
    HAL_Init();
    /* Configure the system clock */
    SystemClock_Config();
    /* Initialize all configured peripherals */
    MX_GPIO_Init();
    MX_USART1_UART_Init();
    MX_TIM1_Init();
    MX_TIM2_Init();
    MX_TIM3_Init();
    /* Init default state to IDLE */
    dat.state = IDLE;
    __HAL_UART_ENABLE_IT(&huart1, UART_IT_RXNE);
    HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim2);
    installHandler(0xA0, &procRequest);
    installHandler(0xA1, &procStart);
    installHandler(0xA2, &procStop);
    installHandler(0xA3, &procPulse);

    /* Init default pulse and delays values*/
    for (int i = 0; i < 100; i++)
        dat.points_d[i] = 1000;
    dat.pulse_d = 500;

    /* Infinite loop */
    readFlashAll();
    while(1)
    {
```

					ДС52.512.218.001	Арк.
						1
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		


```

v3_proceedProtocol();

    if (HAL_GPIO_ReadPin(PEDAL_GPIO_Port, PEDAL_Pin) == GPIO_PIN_RESET)
    {
        dat.state = WORK;
        dat.count = 0;
        HAL_GPIO_WritePin(LIGHT_GPIO_Port, LIGHT_Pin, GPIO_PIN_SET);
    }
    else {
        dat.state = IDLE;
        HAL_GPIO_WritePin(PULSE_OUT_GPIO_Port, PULSE_OUT_Pin, GPIO_PIN_RESET);
        HAL_GPIO_WritePin(LIGHT_GPIO_Port, LIGHT_Pin, GPIO_PIN_RESET);
        HAL_TIM_Base_Stop_IT(&htim1);
    }
}
}

void procRequest(uint8_t *len, uint8_t *dataIn, uint8_t *dataOut)
{
    *len = 0;
    uint8_t num = read8(dataIn, len);
    uint32_t value = read32(dataIn, len);
    dat.points_d[num] = value;
    *len = 0;
}

void procStart(uint8_t *len, uint8_t *dataIn, uint8_t *dataOut)
{
    dat.state = WORK;
    dat.count = 0;
    *len = 0;
    HAL_GPIO_TogglePin(LIGHT_GPIO_Port, LIGHT_Pin);
}

void procStop(uint8_t *len, uint8_t *dataIn, uint8_t *dataOut)
{
    dat.state = IDLE;
    HAL_TIM_Base_Stop_IT(&htim1);
    *len = 0;
    HAL_GPIO_TogglePin(LIGHT_GPIO_Port, LIGHT_Pin);
}

void procPulse(uint8_t *len, uint8_t *dataIn, uint8_t *dataOut)
{
    //uint32_t - pulse length [us]
    *len = 0;
    dat.pulse_d = read32(dataIn, len);
    *len = 0;
}

```

		*len = 0;			ДС52.512.218.001	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДС52.512.218.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

```

        HAL_GPIO_TogglePin(LIGHT_GPIO_Port, LIGHT_Pin);
    }

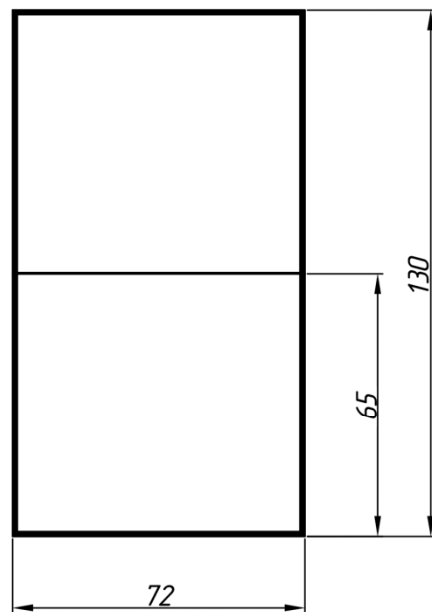
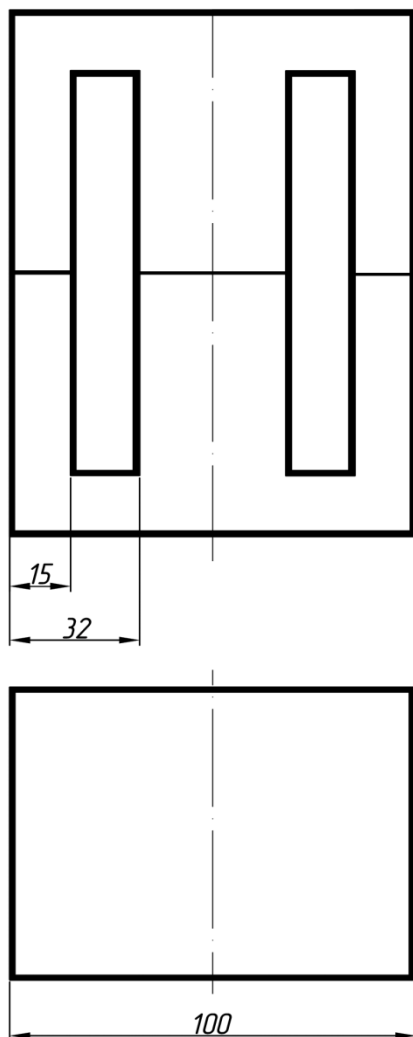
    /* Catch zero cross interrupt */
    void EXTI9_5_IRQHandler(void)
    {
        /* USER CODE BEGIN EXTI9_5_IRQn 0 */
        if (dat.state == IDLE)
        {
            HAL_GPIO_EXTI_IRQHandler(GPIO_PIN_6);
            return;
        }
        if (dat.state == WORK) {
            htim1.Instance->ARR = dat.points_d[dat.count++];
            HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim1);
            if (dat.count > 100)
            {
                dat.state = IDLE;
                HAL_GPIO_WritePin(PULSE_OUT_GPIO_Port, PULSE_OUT_Pin, GPIO_PIN_RESET);
                HAL_TIM_Base_Stop_IT(&htim1);
            }
        }
    }

    /* Catch delay interrupt to switch out pin */
    void TIM1_UP_IRQHandler(void)
    {
        /* USER CODE BEGIN TIM1_UP_IRQn 0 */
        if (__HAL_TIM_GET_FLAG(&htim1, TIM_FLAG_UPDATE) != RESET)
        {
            if (__HAL_TIM_GET_IT_SOURCE(&htim1, TIM_IT_UPDATE) != RESET)
            {
                __HAL_TIM_CLEAR_IT(&htim1, TIM_IT_UPDATE);
                if (dat.state == WORK) {
                    HAL_TIM_Base_Stop_IT(&htim1);
                    HAL_GPIO_WritePin(PULSE_OUT_GPIO_Port, PULSE_OUT_Pin, GPIO_PIN_SET);
                    delay_us(dat.pulse_d);
                    HAL_GPIO_WritePin(PULSE_OUT_GPIO_Port, PULSE_OUT_Pin, GPIO_PIN_RESET);
                }
                else
                HAL_GPIO_WritePin(PULSE_OUT_GPIO_Port, PULSE_OUT_Pin, GPIO_PIN_RESET);
                return;
            }
        }
    }

```

					ДС52.512.218.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Додаток Б. Кресленик осердя зварювального трансформатора:



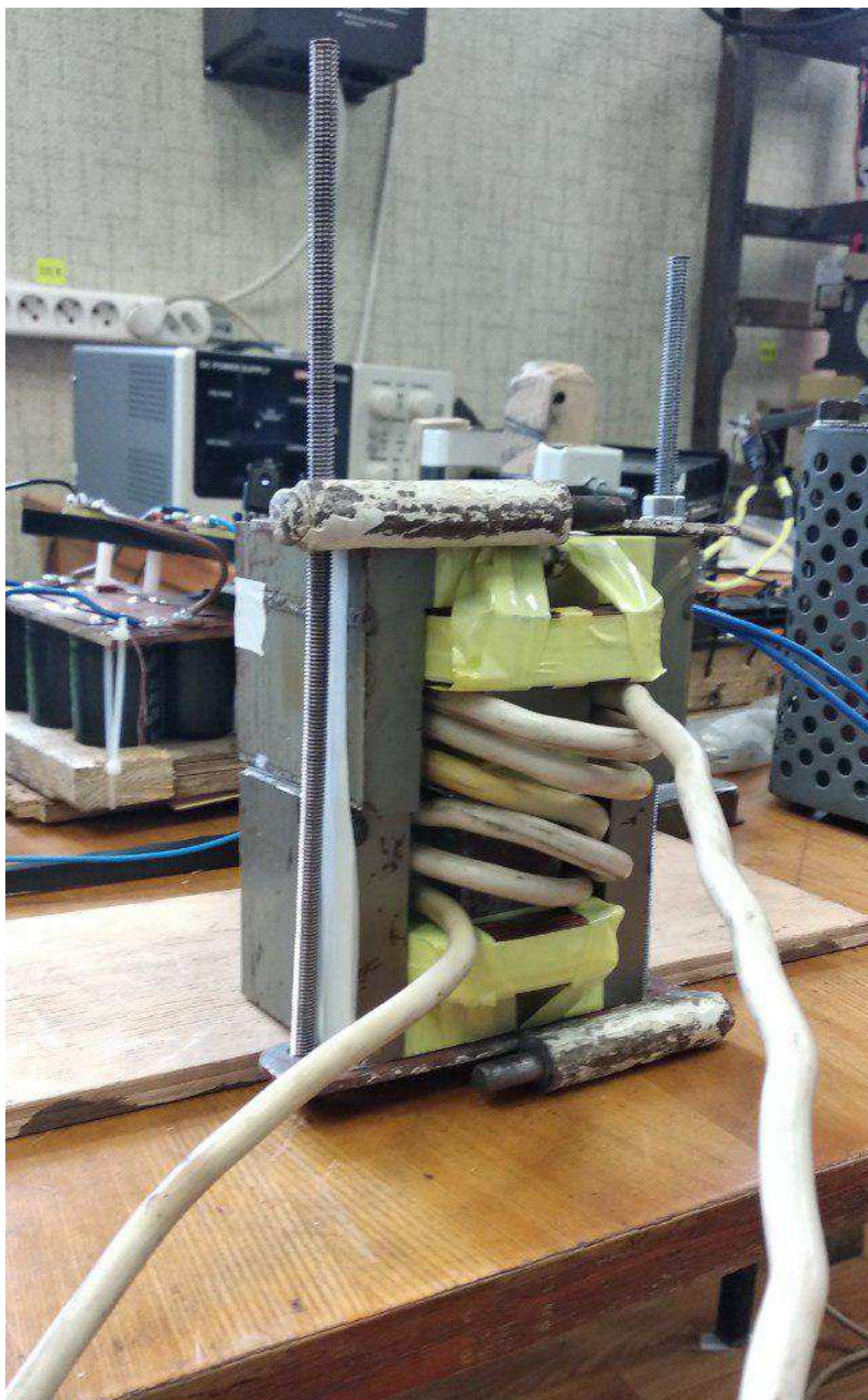
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДС52.512.218.001

Арк.

1

Додаток В. Зовнішній вигляд зварювального трансформатора



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДС52.512.218.001

Арк.

1

Додаток Г. Зовнішній вигляд установки для точкового зварювання



					ДС52.512.218.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1

Додаток Д. Приклади з'єднаних заготовок



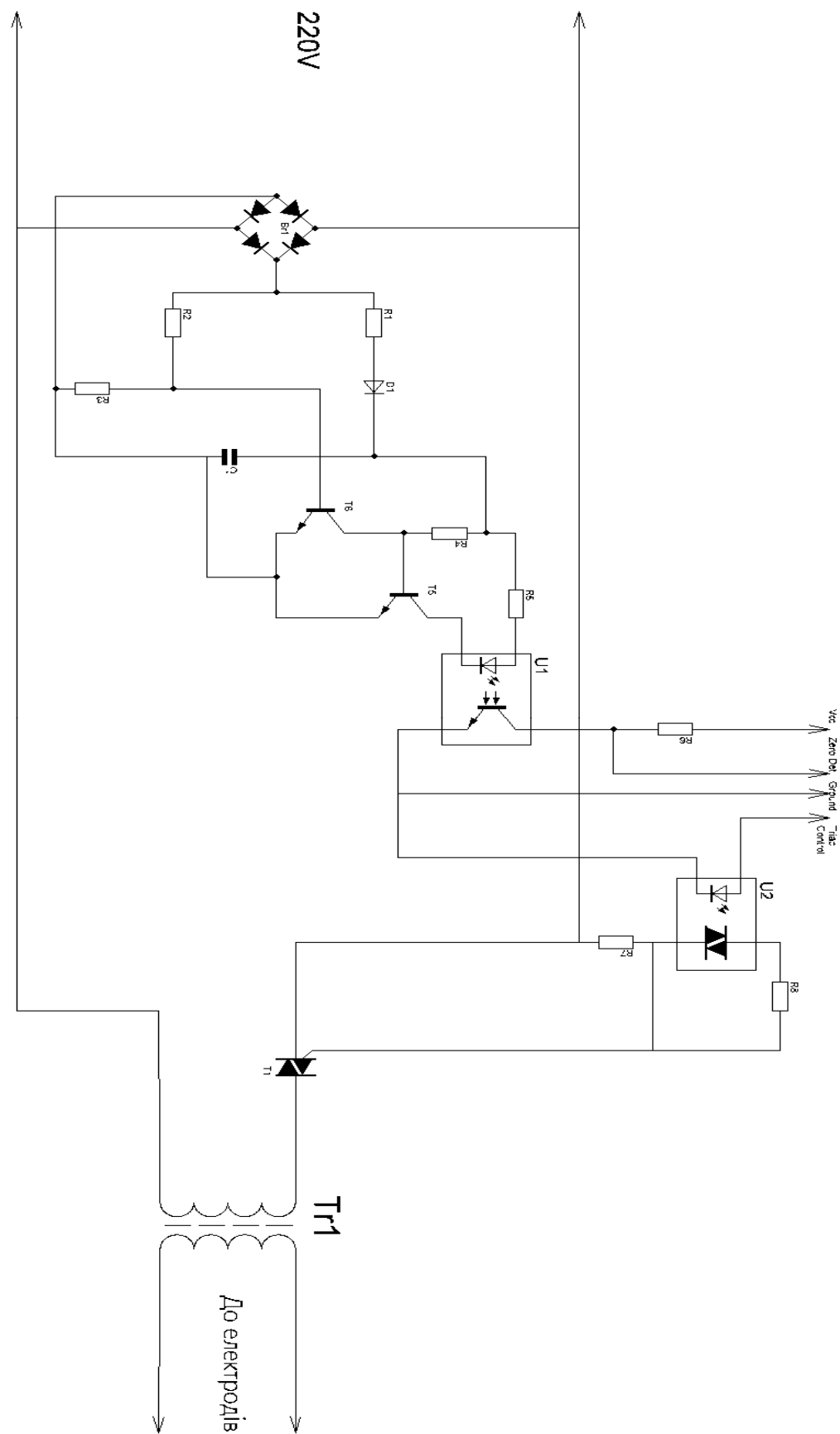
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДС52.512.218.001

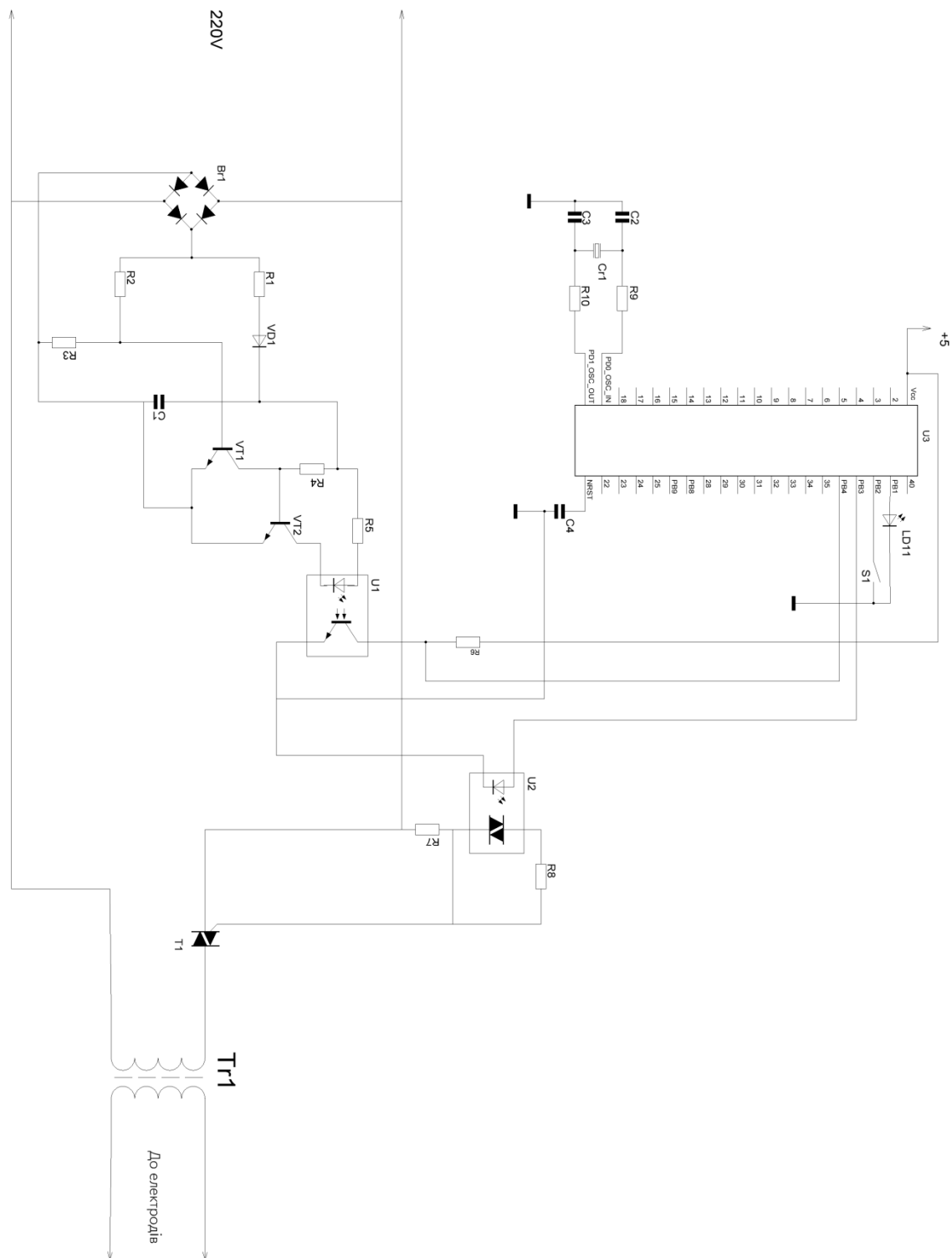
Арк.

1

Додаток Е. Схема електрична принципова силової частини джерела живлення для контактного зварювання.



Додаток Є. Схема електрична принципова джерела живлення для
контактного зварювання.



Поз.	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Конденсатори</u>		
C1	220nF 630 V 25mm ±10%	1	
C2-C3	0805 22pF 50V ±10%	2	
C4	0805 100nF 50V ±10%	1	
	<u>Резистори</u>		
R1	2512 330кОм ±5%	1	
R2	2512 120кОм ±5%	1	
R3	2512 18кОм ±5%	1	
R4	2512 7.5кОм ±5%	1	
R5	2512 270 Ом ±5%	1	
R9	0805 0Ом ±5%	1	
R10	0805 100Ом ±5%	1	
	<u>Діоди</u>		
VD1	1n4007	1	
BR1	1A 1000V	1	
LD1	<u>0805, 5V 30mA RED</u>	1	

					ДС52.521.218.001 ПЕЗ				
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Джерело живлення для контактного зварювання Перелік компонентів				
Розроб.		Єсепчук В.Ю.							
Перевір.		Миколаєць Д.А.							
Т. контр.									
Н. контр.		Батрак Л.М.							
Затверд.		Миколаєць Д.А.			Лім. Аркуш Аркушів <div> <div></div> <div>1</div> <div>2</div> </div> КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ гр. ДС-52				

[illegible]

ABSTRACT

The power supply unit for AC spot contact welding has been developed and investigated. Methods of power control are considered and the scheme of control of an alternating voltage is developed. Some modes of operation of welding machines are investigated. Simulated diagram of the detection of transition of mains voltage through zero. Selected and manufactured welding transformer. The influence of the shape of welding electrodes on the shape and quality of welds is studied. The relationship between the voltage on the secondary winding and the ability to weld thick metal blanks is investigated

The thesis describes the basic principles of electrocontact welding, which are necessary for the development of a power source for contact welding. From theoretical information it becomes clear that the most important parameter of electric welding units is the maximum current that the installation can give to the load. For this purpose, low-voltage transformers of high power are used. Also for this purpose it is possible to use pulse step-down voltage converters.

To control the power, the most common method is selected-phase control with a lagging angle of opening the power key. There are several methods for power control:

- Changing the gap on the jet coil, which is installed on a separate magnetic core, or attached to the magnetic core of the transformer in the form of the letter "P". The output of the secondary winding, which goes to the "mass", is wound on the jet coil.
- Moving the secondary coil along the magnetic cores. It is mainly used on three-phase transformers. The farther the secondary coil from the primary, the lower the power of the transformer.
- Adding additional bends to the primary winding every 5-10 turns. Such taps can be from 2 to 12. That is, when the transformer for the calculation should be for example 180 turns, then a 180 turn is the first branch, the connection to which will be

the maximum power, and all the extra turns and bends will reduce the current and voltage. And the full range of regulation can be achieved by adding to the 180 main turns of another 60-80 turns with at least 6-8 bends (which is more, it is better). This method of regulation is performed using a multi-stage phase switch or by shifting the connection of various bends.

There are also homemade ways to control the power of the welding transformer, in particular by adding to the input of the primary winding of a powerful rheostat from a nichrome spiral, or by adding to the "mass" of the secondary winding of a 6.5-mm rod 2 meters long, wound in a spiral, to which a cable connection with the welding metal is connected at the desired length (the longer the length of the rod on the connection, the less the power of the transformer), it is something similar to a rheostat from improvised materials. But with such a regulation awkward to work with and additionally dangerous, because the spiral is very hot. But negatively on the quality of welding work is not affected (adjustment still occurs) and people get used to such working conditions in everyday life.[9]

The choice of phase control with a lagging angle of opening the power key was chosen from the following considerations:

1. Compact power circuit
2. The ability to set an arbitrary curve of the welding current
3. Ability to control the installation from a computer or smartphone.
4. Low cost control system

When looking for a transformer, the main parameters were maximum power, small size and low price. Transformers for magnetrons were optimal for the manufacture of a welding transformer.

To obtain high output power, the two transformers were combined into one using primary windings connected in parallel. This allowed to obtain the optimal current density in the winding.

The secondary winding is made of wire with a large cross-sectional area, as it must withstand current up to 1500 Amperes. The secondary winding consists of 7 turns.

To implement the correct control power was collected circuit detection of the voltage transition through zero. It consists of a small number of available elements, does not cause an increase in the price of the finished device.

Control of the power part is carried out according to the following algorithm:

1. When you press the pedal to start welding, 100 values of the variable are recorded in the memory of the microprocessor, which is responsible for the delay in issuing a pulse to open the power key

2. After the input of the microcontroller comes to the falling front from the zero detector, the countdown begins in the built-in timer. This time is determined by the value of the variable that was written before.

3. The timer after a certain time gives the output a high-level signal, the duration of which is 1 millisecond, which is enough for a stable key opening.

4. After the opening pulse is applied to the optosymistor, the microcontroller writes the next time delay value to the internal memory after the pulse is received from the zero detector output.

5. After testing 100 values, the microcontroller goes into standby mode until the next press of the start button or pedal.

Stm32 series microcontrollers are characterized by high speed and ease of programming, but this does not negate the fact that they can be used in the construction of fairly complex microprocessor systems

For the manufacture of PCB IC and circuit Board with the detector zero and optosensor to control the power key is used the program Altium Designer 17.1.9. It makes it possible to produce printed circuit boards of even high complexity due to the fact that the trace occurs by means of bindings of the component pins.

For testing, a tool was made to compress the workpieces before welding. It is a lever installed on it by the electrodes from a sheet of copper having a thickness of 1.2 mm. Wire of the secondary winding of the transformer is mounted on the electrodes.

After the tests, the following conclusions were made:

1. The quality of the welded joint on blanks up to 1mm thick is good, with a significant effort to break and twist

2. During operation of the power supply there is noise from the transformer, which occurs under the influence of magnetostriction. To overcome this disadvantage, it is necessary to rigidly fix the half of the core with each other by means of screw connections, or gluing.

3. Maximum current of secondary winding of welding with a cycle in 1 second is about 1500 Amps

4. The thermal operation of the transformer at maximum power is not disturbed. This was investigated by setting the core chromel-kopel the thermocouple. The core temperature did not rise above 47 degrees Celsius.

After the tests, the following features were noted:

1. When using the correct electrodes, the weld joint is of sufficient quality

2. The transformer does not overheat

3. When using pulses of welding current of different sizes can be connected blanks of non-ferrous metals.

In the course of the diploma project was developed and manufactured power supply for spot contact welding. Based on the data obtained, the following conclusions were made:

1. One of the problems was the large inductance of the primary winding of the transformer, which makes it impossible to obtain the required form of current in it, but this does not interfere with the control.

2. The big advantage of the developed power supply is compact size with a sufficiently high power.

3. Unlike serial samples of power sources for contact welding with similar parameters, the developed power supply has wide limits of regulation.

4. Due to the use of microcontroller control, it is possible to set an arbitrary shape of the welding current pulse.

5. The developed power supply has a low cost due to the use of available components.

To manufacture the device for contact welding on the basis of the developed power source for contact welding, oxygen-free copper electrodes with a thickness of 1.2 mm were used. the Shape was chosen with an acute angle to provide the greatest pressure on the welding site.

Under certain conditions, the power supply can be used as a tool for cutting sheet metals up to 0.3 mm thick. But this feature increases the probability of metal splash at the welding site.

I would like to note that the power supply was assembled from very affordable materials and components, which is important for homemade electronic devices.